



HYDRAULIIKKAPUTKIEN VALMISTUSJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö

Janne Tuomainen

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Koneautomaatio

Hyväksytty _____.____._____

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Janne Tuomainen

Työn nimi

Hydrauliikkaputkien valmistusjärjestelmän kehittäminen

Työn laji

Opinnäytetyö

Päiväys

16.4.2010

Sivumäärä

81 + 7

Työn valvoja

Lehtori Jyri Tuovinen

Yrityksen yhdyshenkilö

Suunnittelija Arto Ollakka

Yritys

Painetehto Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli laatia Painetehto Oy:lle kehityssuunnitelma, miten nykyisen hydrauliikkaputkivalmistusjärjestelmän tuotantokapasiteetti saadaan kolminkertaistumaan viidessä vuodessa.

Työn tarkoituksena oli tutkia läpimenoaikaa lyhentäviä ratkaisuja tuotannon virtautuksen, nykyisten koneiden uudelleensijoittelun ja työskentelytapojen kannalta. Työssä vertailtiin myös millaisella konekannalla ja työntekijämäärillä saa mahdollisimman hyvän kokonaisuuden valmistusjärjestelmän tuotannon kolminkertaistukseen.

Työssä tutkittiin yrityksen tuotantoa, mitattiin työpistekohtaisia läpimenoaikoja sekä haastateltiin henkilökuntaa. Saatujen tietojen perusteella ratkaistiin tuotannonohjaukseen ja tuotantoon liittyvät ongelmat ja tehtiin kolme erilaista suunnitelmaa valmistusjärjestelmistä. Näistä suunnitelmista valittiin yritykselle paras valmistusjärjestelmä.

Työn tuloksena yritys sai tietoa nykyisen tuotantojärjestelmän läpimenoajoista, ongelmista ja tuotannon tehostamisen keinoista. Tuotantojärjestelmän layoutia, konekanta ja työnjärjestelyä voidaan suunnitelmien ja laskelmien pohjalta muuttamaan tulevaisuudessa tehokkaasti.

Avainsanat

tuotantojärjestelmät, tuotannonsuunnittelu, layout-suunnittelu, järjestelmän mallinnus

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Degree Programme Mechanical Engineering and Production Technology		
Author Janne Tuomainen		
Title of Project Development of Hydraulic Pipe Manufacturing System		
Type of Project	Date	Pages
Final Project	April 22, 2010	81 + 7
Academic Supervisor	Company Supervisor	
Mr. Jyri Tuovinen, Lecturer	Mr. Arto Ollakka, Designer	
Company Paineteho Oy		
Abstract <p>The aim of this project was to make a development plan for Paineteho Oy and investigate how the production capacity of the current hydraulic pipe manufacturing system could be tripled in five years. The purpose was to explore solutions for shortening the turnaround time by examining the impact of production flow, re-arranging the existing machines and working methods.</p> <p>In this project it was compared what kind of machine base and number of employees are needed to make the most optimal system to triple the manufacturing production. The production of the company was investigated, the turnaround times of the workstations were measured and the staff was interviewed. Based on the information obtained, production control and production-related problems were solved and three different manufacturing system plans were made. The best manufacturing system for the company was chosen from these three alternatives.</p> <p>As a result, the company received an analysis of the turnaround times and problems as well as the ways to improve the production. Based on the development plan layout, machine base and organization of work the current production system can be changed as effectively as possible in the future.</p>		
Keywords production systems, production design, layout-planning, system modelling		
Confidentiality public		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 PAINETEH OY	9
3 TUTKIMUKSEN SUORITUS	11
4 TUOTANNON TAVOITTEET	12
4.1 Tuotanto	12
4.2 Lyhyt ja varma toimitusaika	12
4.3 Joustavuus	12
4.4 Tuotteen tasainen ja korkea laatu	13
4.5 Imago	13
4.6 Tuotannon sisäisiä tavoitteita	13
5 TUOTANTOMUODON MÄÄRÄYTYMINEN	15
5.1 Erä koko	15
5.2 Valmistusmäärä ja toistuvuus	15
5.3 Tuotantomuodot	16
6 VALMISTUSJÄRJESTELMÄT	18
6.1 Paikallinen järjestelmä	18
6.2 Tuotantolinja-layout	18
6.3 Funktionaalinen layout	19
6.4 Solulayout	19
7 TYÖNKULUN MUODOSTUMINEN JA LÄPÄISYAIKA	20
7.1 Työvaihe	20
7.2 Työnkulku	20
7.3 Kapasiteetti	20
7.4 Läpäisy aika	21
7.5 Läpäisyajan merkitys	21
7.6 Läpäisyajan lyhentäminen	22
7.7 Vaihtelun merkitys tuotantojärjestelmässä	23
8 TYÖNTUTKIMUS JA MITTARIT	24
8.1 Työntutkimus	24
8.2 Työnmittaus	25
8.3 Ajankäytöntutkimus	25

9 TUOTANTOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	28
9.1 Suunnittelutuotteisto	29
9.2 Tuoteanalyysi	29
9.3 Tuoteanalyysiin käytettäviä malleja.....	30
9.4 Tuotantoanalyysi	31
9.5 Struktuurin suunnittelu.....	31
9.6 Työnkulkukaavio	32
9.7 Valmistustekniikka.....	33
10 LAYOUTSUUNNITTELU	34
10.1 Jatkuva virtaus.....	35
10.2 Muunneltavuus.....	35
10.3 Automaatio.....	35
11 JÄRJESTELMÄN MALLINTAMINEN.....	36
11.1 Ongelman määrittely	36
11.2 Raporttien määrittely.....	36
11.3 Mallin laajuuden määrittely	37
11.4 Tiedon keräys ja analysointi	37
11.5 Luotettavuusvälin laskeminen.....	38
11.6 Mallien vertailu	39
11.7 Tulosten analysointi	39
12 KEHITYSMAHDOLLISUUDET	40
12.1 JOT.....	40
12.2 Lean.....	41
13 VALMISTUSJÄRJESTELMÄN TUTKIMINEN.....	42
13.1 Tiedonkeruututkimus	42
13.2 Työnmittauksen tutkimus.....	42
13.2.1 Suunnittelutuotteisto.....	42
13.2.2 Kelloaikatutkimus.....	43
13.3 Haastattelututkimus.....	44
14 TUTKIMUKSEN TULOKSET	45
14.1 Tiedonkeruun tulokset.....	45
14.1.1 Kapasiteetti	45
14.1.2 Järjestelmä	46
14.1.3 Työnkulku ja sen ongelmat.....	49

14.1.4 Työvaiheet ja niiden ongelmat	50
14.2 Työnmittauksen tulokset	52
14.3 Haastattelututkimuksen tulokset	59
15 TUOTANNON TEHOSTAMINEN	60
15.1 Kuormitussuhde	60
15.2 Sarjakoon vaikutus läpäisy aikaan	61
15.3 Layout	62
15.4 Tilauksien selkeyttäminen.....	63
15.5 Edestakaisen liikkeen poistaminen	66
15.6 Pullonkaulojen poistaminen	67
15.7 Tuotantoergonomian parantaminen	68
15.8 Välimatkat	69
16 TUOTANTOMALLIEN VERTAILU	70
16.1 Mallien rajaaminen	70
16.2 Nykyinen solu	71
16.3 Kaksi sahaa	71
16.4 Automaattivarasto	73
16.5 Automaattisaha.....	74
16.6 Automaattivarasto ja -saha.....	74
17 KEHITYSSUUNNITELMA.....	75
17.1 Lyhyellä ajalla aloitettavat muutokset	75
17.2 Pidemmän ajan ratkaisut	78
17.3 Yhteenveto kehityssuunnitelmasta.....	79
18 YHTEENVETO	80
LÄHTEET	81
LIITTEET	
Liite 1. Suunnittelutuotteiston jaottelu	
Liite 2. Työnkulkukaavio	
Liite 3. Hallin layout	
Liite 4. Ideaalivalmistusjärjestelmä layout	
Liite 5. Automaattivarasto layout	
Liite 6. Automaattisaha layout	
Liite 7. Automaattivarasto ja -saha layout	

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Paineteho Oy:lle. Tavoitteena on suunnitella hyvin toimiva hydrauliiikkaputkien valmistusjärjestelmä viiden vuoden ajalla kasvavaan tuotantoon.

Haluan kiittää Paineteho Oy:n suunnittelija Arto Ollakkaa, toimitusjohtaja Jussi Koljosta ja yrityksen työntekijöitä yhteistyöstä sekä työhön liittyvistä asiantuntevista neuvoista. Kiitos kuuluu myös lehtori Jyri Tuoviselle työn ohjauksesta.

Haluan esittää kiitokseni perheelleni ja ystäväilleni, jotka ovat olleet tukemassa ja kannustamassa minua opinnoissani.

Kuopiossa 7.5.2010

Janne Tuomainen

1 JOHDANTO

Hydrauliikkaan ja paineilmaan liittyviä palveluja tarjoavan Paineteho Oy:n tavoitteena on selvittää, miten putkituotanto voidaan kolminkertaistaa viiden vuoden tähtäimellä. Tavoitteeseen pyritään pääsemään selvittämällä hyvin toimiva kokonaisuus työtapojen, tuotannonohjauksen, konekannan ja työntekijämäärän kannalta.

Opinnäytetyö käsittelee koko tuotantojärjestelmän tehostamiseen liittyviä ratkaisuja. Työssä tutkitaan nykyisen järjestelmän vaihe- ja läpimenoaikoja, joiden pohjalta määritetään tuotantokoneiden ja työntekijämäärän tarve. Nykyisen järjestelmän heikkouksiin etsitään ratkaisuja käyttäen tukena kirjallisuusteoriaa.

Työn tuloksena on tarkoitus saada mahdollisimman hyvin toimiva kokonaisuus. Tuotantokoneiden ja työntekijämäärien valinnassa etsitään mahdollisimman tasapainoinen ratkaisu. Tuotantokoneiden sijoittelussa pyritään huomioimaan muunneltavuus ja mahdollinen uudelleenjärjestely. Tuotantokoneiden välisiä kuljetusmatkoja pienennetään. Työnkulku suunnitellaan mahdollisimman opastavaksi ja sujuvaksi sekä työskentelytapoja pyritään parantamaan.

2 PAINETEH OY

Pertti Koljonen perusti paineilma ja hydrauliiikkapalveluihin keskittyneen yrityksen Paine-teho Oy:n vuonna 1979. Toiminta aloitettiin 200 neliön tiloissa yhdessä Kai Puolakan kanssa. Ensimmäisinä vuosina keskityttiin paineilma- ja hydrauliikkakomponenttien myyntiin ja huoltoon. 1980-luvun alkupuolella yritys muutti noin 1000 neliön tiloihin Tasaval-lankadulle Kuopioon. Samoihin aikoihin aloitettiin erilaisten laitteiden valmistaminen. Näistä esimerkkinä ovat alipainenostin linjat, paperiteollisuuden rullien alipainenostimet trukkeihin, kuormalava kasausautomaatit, maantiesiltojen hydrauliikkatoteutukset. Vuosien 1980 ja 2005 aikana Paine-teho Oy toimi myös Mitsubishin trukkien valtuutettuna jälleen-myyjänä ja huoltoliikkeenä.

1990-luvulla alettiin huoltaa VR:n ratatyökoneiden hydrauliiikkoja ja ostettiin valmistusoi-keudet Hydor-traktorikompressoreihin. Ratatyökoneiden ja traktorien huolto tehdään ny-kyäänkin. Vuonna 1995 Paine-teho Oy muutti Kuopion Tehdaskadulla sijaitsevaan 1500 neliön kiinteistöön, jota laajennettiin vuoteen 1997 mennessä 1800 neliöön.

2000-luvulla alettiin kehittää erikoiskompressoreita kaivos- ja tunnelitöitä varten. Toiminta jatkuu nykyäänkin. Sukupolvenvaihdos tapahtui vuonna 2003, jolloin Jussi Koljosesta tuli Paine-tehon omistaja. Vuonna 2008 yritys muutti Kuopion Kelloniemessä sijaitsevaan 2600 neliön kiinteistöön. Suurempien tilojen ansiosta pystyttiin pienimuotoinen putken valmis-tus kasvattamaan suuremmaksi ja saatiin tilaa kokoonpanolle sekä huoltotoiminnalle. Vuonna 2009 paine-teho aloitti hydrauliiikan johdinputkitoimittajana ja Atlas Copco-kompressoreiden valmistajan kanssa aloitettiin yhteistyö. Yhteistyöhön sisältyy kompresso-reiden ja generaattoreiden myynti, huolto sekä kompressorikonttien rakennus ja kehitys. Yrityksen henkilöstömäärä vuonna 2010 on 21 henkilöä.

Nykyään yrityksen palvelut jakautuvat kolmeen osaan, hydrauliiikka- ja paineilmajärjes-telmien suunnitteluun ja valmistukseen, huolto- ja korjaamopalveluihin sekä tarvikemyyn-tiin yrityksessä ja internetissä. Asiakaskuntaan kuluu yksityisasiakkaat, puuteollisuus, ohutlevyteollisuus, kaivosteollisuus, paperiteollisuus ja elintarviketeollisuus.

Putkien valmistaminen nykyisessä muodossaan aloitettiin vuonna 2009. Ennen tätä valmistus oli hyvin vähäistä, putket valmistettiin manuaalisella taivutuskoneella ja sahalla. Uusi halli antoi tilaa itsenäiselle putkenvalmistusjärjestelmälle.

590 neliön halli jakautuu kahteen osaan, hydraulikkakoneikkojen kokoonpanoon ja putken valmistukseen. Putken valmistukseen tilaa on käytössä 180 neliötä. Konekanta koostuu puoliautomaattisahasta, cnc- taivutuskoneesta, kahdesta purseenpoistokoneesta sekä kevyestä puhdistuslaitteesta. Liitteessä 3 on pohjakuva hallitilasta, jossa putken valmistaminen tapahtuu. (Paineteho Oy)

3 TUTKIMUKSEN SUORITUS

Kehityssuunnitelman lähtökohtana on selvittää, kuinka nykyinen tuotantokapasiteetti voidaan kolminkertaistaa viidessä vuodessa. Tähän halutaan löytää ratkaisu tuotannonohjauksen, konekannan ja työntekijä määrän kannalta. Tulevaisuudessa sarjakoon odotetaan kasvavan nykyisestä noin kolminkertaiseksi.

Kehityssuunnitelmassa keskitytään nykyisen tilanteen kartoittamiseen ja tulevan tuotantojärjestelmän suunnitteluun laitteiden uudelleensijoittelulla ja mahdollisella automaatiotason nostolla. Kartoituksessa keskitytään järjestelmän heikkouksien tunnistamiseen. Tuotantojärjestelmän suunnittelussa täysin automatisoitua järjestelmää ei oteta huomioon ja vaihtoehtoisten järjestelmien tuotannonohjaukseen keskitytään vain pintapuolin. Työntekijöiden määrän vaikutus järjestelmän tehokkuuteen tutkitaan muutamissa eri tuotantojärjestelmissä. Tuotantojärjestelmistä laaditaan eri vaihtoehtoja ja niitä vertaillaan keskenään.

4 TUOTANNON TAVOITTEET

4.1 Tuotanto

Kilpailukyky edellyttää, että yrityksen kaikki tuotantoon liittyvät osa-alueet ovat samalla tasolla; Kaikkia pitää kehittää samanarvoisesti. Tuotannon täytyy nähdä toimintansa koko yrityksen palvelumuotona. Tuotannon kehitystavoitteiksi asetetaan palvelukykyä kasvattava nopeus ja joustavuus. Tuotannon tavoitteet määräytyvät ristipaineisesta kentästä palveluvuonon ja kustannustehokkuuden välillä. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 38.)

4.2 Lyhyt ja varma toimitusaika

Toimitusajan pituus riippuu kolmesta tekijästä, materiaalien hankinta-ajoista, oman valmistuksen läpäisyajoista sekä kuormitustilanteesta. Tuotantojärjestelmä määrää suurimmaksi osaksi läpäisyajan pituuden. Toimitusajoissa pitäytyminen on läpäisy aikaakin tärkeämpi vaatimus, mikä edellyttää tuotantojärjestelmän hyvää ohjattavuutta. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 38.)

4.3 Joustavuus

Joustavuudella tarkoitetaan sopeutumista asiakasversioihin, antamista pienille erille kannattavan valmistuskyvyn sekä valmistamaan tuotteet asiakastilausten perusteella. Varastoon valmistaminen sitoo pääomia, joten se on kallista. On myös riskinä epäkurantin varaston syntyminen. Asiakasversioiden kaikkia osia ei voida pitää varastossa, mikä johtaa siihen, että läpäisy aika täytyy saada lyhyeksi, jotta tilaus saadaan valmiiksi kohtuullisessa ajassa. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 38.)

4.4 Tuotteen tasainen ja korkea laatu

Teollisuusmaissa tuotanto ei kannata, jos tuotteet eivät ole korkealaatuisia. Hyvään laatuun kuuluu tuotteen peruslaatu, toteutuslaatu sekä esteettisyys. Toteutuslaatuun vaikuttavat eniten valmistusmenetelmät ja tuotantojärjestelmän toimivuus. Automaation lisääminen ei yksinään tuo laatua, mutta automaatiolla tasataan valmistuksen hajontaa. Ihminen laadun tuottajana on kaksitahoinen: Yksitoikkoisessa työssä väsyminen, tarkkaamattomuus voivat aiheuttaa yllättäviä muutoksia tasaiseen tuotantolaatuun. Toisaalta ihmisen toimet hitaassa monimutkaisessa prosessissa nostavat laatua tarkimpienkin koneiden yläpuolelle. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 39.)

4.5 Imago

Imago on tärkeä käsite uusien asiakassuhteiden luotaessa. Ensivaikutelma vaikuttaa pitkään asiakkaan suhtautumiseen yritykseen. Imagoon voidaan vaikuttaa nopealla reagoinnilla, toimitusaikojen pitämällä, järjestyksellä, siisteydellä, tuotantokaluston tasolla ja tuotantojärjestelmän toimivuudella. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 40.)

4.6 Tuotannon sisäisiä tavoitteita

Kehittäessä tuotantoa korkeatasoiseksi, kuitenkin niin että säilytetään taloudellisuus, nousee esiin tuotannolle tärkeitä asioita. Nämä asiat muodostavat sisäisten tavoitteiden joukon:

- Lämpäisy aika. Lyhyt lämpäisy aika mahdollistaa lyhyet toimitusajat, mikä parantaa ohjattavuutta sekä keventää organisaatiota. Lämpäisy aika kertoo järjestelmän toimivuuden tason.
- Kerralla valmiiksi. Kukin osa valmistetaan yhdessä työvaiheessa. Tällä saadaan työvaiheketjun aikaa lyhemmäksi ja samalla myös ohjattavuus paranee. Toinen merkitys kerralla valmiiksi tavoitteella on virheettömyys.
- Asetusajat alas. Lyhyet tai 0-asetusajat mahdollistavat pienet valmistuserät ja näin mahdollistaa tuotannonohjaamisen saatujen tilausten perusteella.

- Sisäinen asiakkuus. Asiakas on todellinen palkan maksaja. Jokaisen tulee pitää seuraavaa työvaihetta asiakkaanaan. Tämä tarkoittaa työnlaadun sekä sisäisten toiminta-aikojen seuraamista.
- Varastoton valmistus. Varastojen suuri koko on riski ja minkä myötä ne piilottavat tuotannon ongelmat. Varastottomuuden saavuttamiseksi ajoitetaan valmistus juuri ennen tarvetta. Määrän ja ajan suhteen juuri oikeaan tarpeeseen valmistamista sanotaan JOT-tuotannoksi.
- Kevyt organisaatio (Lean). Tähtää poistamaan kaiken turhan, mikä ei kasvata tuotteen jalostusarvoa.
- Automaatio. Valmistuksen ja suunnittelun automaatio on voimakas rationalisointikeino. Automaatio pakottaa laittamaan järjestelmän kuntoon, siten se välillisesti selkeyttää toimintaa
- Modulaarinen tuote. Asiakasversiot pyritään tarjoamaan tuotteena, joka on asiakasmuutoksista huolimatta jo valmiiksi suunniteltu ja jonka valmistusvalmiudet ovat olemassa. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 41- 42.)

Sisäisiä tavoitteita arvostetaan jopa niin paljon, että niitä käytetään johtamistekniikan ydinsanoina. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 41- 42.)

5 TUOTANTOMUODON MÄÄRÄYTYMINEN

5.1 Eräkoko

Tuotteen vuosivolyymi valmistetaan erissä. Eräkoon teoreettinen tavoite on yhden loppu-tuoteyksikön tarve. Tavoitteen toteutuminen riippuu tekniikasta, erityisesti asetustekniikas-ta.

Eräkoon pitäminen pienenä pitää myös tuote- puolivalmisteverastot pieninä. Tuotevaras-toissa pääomakustannusten ohella merkittävänä riskinä on epäkurantin varaston synty-minen. Asiakastilauksiin perustuva valmistus johtaa pieniin eriin, mikä kasvattaa kokonais-kustannuksia. Eräkohtaiset kustannukset painavat eräkokoa suurenevaan suuntaan. Eräkoh-taisia kustannuksia syntyy:

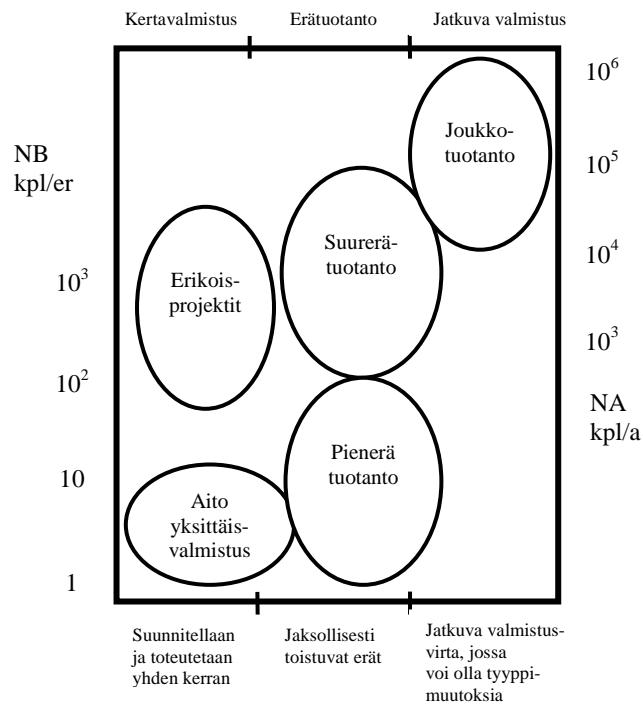
- asetusajoista
- sisäisistä kuljetuksista
- ohjaustoiminnoista.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 59.)

5.2 Valmistusmäärä ja toistuvuus

Valmistusmäärä kuvaa tuotteen valmistusvolyymiä (kuva 1). Volyymi ilmaistaan normaalisti vuosivolyymina, joka kuvaa sitä, kuinka monta yksikköä tuotetta valmistetaan yhden vuoden aikana yhteen tai useampaan erään jaettuna. Kokonaisvalmistusmäärä kertoo kuinka monta yksikköä tuotetta on tehty sen elinkaaren aikana. Kokonaisvalmistusmäärä voidaan jakaa valmistuseriin. Erä on yhdellä työn aloituksella yhtäjaksoisesti tehty valmis-tusmäärä. Kokonaisvalmistusmäärä määrittää osaltaan tuotteen valmistukseen suunnitelta-van kalustuksen tason. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 44.)

Toistuvuus kuvaa sitä, kuinka monta kertaa kerran suunniteltu ja valmistettu tuote voidaan samoilla suunnitelmilla valmistaa uudelleen. Useimmin käytetty toistuvuuden suure on erien lukumäärä vuodessa. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 44.)

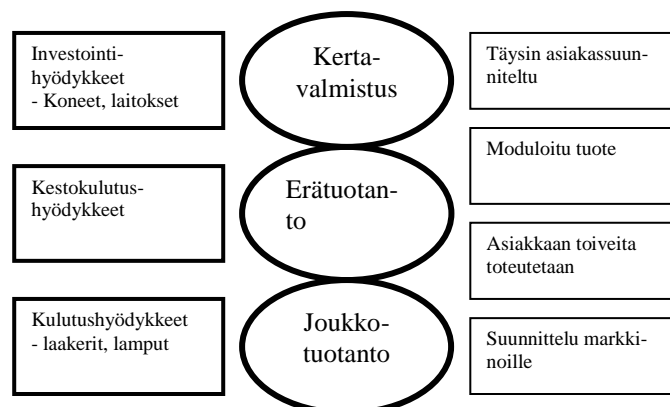


Kuva 1. Volyymi ja toistuvuus sekä niiden määrittelemät tuotantotyytit. NB = eräkojo ja NA = vuosivolyymi. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 44.)

Aidossa yksittäisvalmistuksessa tehdään 1-10 kappaletta tuotetta, tällöin vuosivolyymi on vähäinen. Joukkotuotannossa eräkojo voi nousta moniin tuhansiin kappaleisiin, jolloin vuosivolyymi on jopa miljoonissa kappaleissa.

5.3 Tuotantomuodot

Tuotantomuodot jaetaan kolmeen eri ryhmään (kuva 2). Hyödykelaji kertoo, millainen tuotteen kysyntä on ja kuinka lähellä valmistaja on loppuasiakasta.



Kuva 2. Hyödykelaji ja tuotantomuoto (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 59.)

Investointihyödykkeiden valmistusmäärät samoilla suunnitelmilla ovat pieniä. Tämä johtaa vaatimuksiin tuotesuunnittelun nopeudesta ja tuotannonjoustavuudesta.

Kestokulutushyödykkeiden asiakassuunnittelun osuus on investointihyödykkeiden vaatimaa vähäisempi. Kestohyödykkeistä tarjottavien varianttien määrä kasvaa jatkuvasti. Tämä vaatii joustavuuden toteuttamista tuotantojärjestelmään.

Kulutushyödykkeitä valmistetaan joukkotuotantona. Suunnittelun täytyy olla täysin loppuunvietyä. Tämä mahdollistaa sen että yhdellä suunnitelmalla saadaan suuri tuotemäärä ja liikevaihto. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 44.)

6 VALMISTUSJÄRJESTELMÄT

Valmistusjärjestelmiä on useita erilaisia, ja valittava järjestelmä määräytyy tuotteen ominaisuuksien mukaan. Valintaperusteina ovat hyödykelaji, tuotteen valmistusmäärä, toistuvuus sekä raskaus. Valmistusjärjestelmät ovat usein sekoituksia eri tuotantomuodoista. Koneiden, laitteiden ja varastojen sijoitus ja niiden kautta kulkeva materiaali muodostavat valmistusjärjestelmän. Niiden sijoituspiirustusta kutsutaan layoutiksi. (Tuotantotalous.)

Työnkulun ja tuotantolaitteiden sijoittelun perusteella valmistusjärjestelmät voidaan jakaa karkeasti neljään päätyyppiin:

- paikallinen järjestelmä
- tuotantolinja-layout
- funktionaalinen layout
- solulayout.

6.1 Paikallinen järjestelmä

Paikallisessa järjestelmässä tuotteen valmistus- ja kokoonpanoprosessi tapahtuu samalla paikalla. Työkalut ja työntekijät tulevat tuotteen luokse. Työvaiheiden muuttuessa vaihtuu vain tuotantokoneisto, työkalut ja työntekijät tarpeen mukaan. Paikallisessa järjestelmässä valmistetut tuotteet ovat painavia ja helposti rikkoontuvia, joten niitä ei ole kannattavaa siirtää. Yksikkökustannukset ovat tällaisessa järjestelmässä suuret, mutta kiinteät kustannukset pienet. (Tuotantotalous.)

6.2 Tuotantolinja-layout

Tuotantolinjassa työlaitteet ovat työnkulun mukaisessa järjestyksessä ja siinä valmistetaan vain tiettyä tuotetta. Valmistaminen on automatisoitua ja tehokasta, minkä vuoksi työnkulku on selkeä.

Tuotantolinjatyypin rakentamisen keskeisin edellytys on suuri volyymi ja korkea kuormitettavuus. Tuotantolinjan rakennuskustannukset ovat suuret. Jotta kulut voidaan kattaa, tuotteen valmistusvolyymin täytyy olla suuri. Laadunvalvonta on todella tärkeää, koska suurella volyymillä linja kykenee tuottamaan tehokkaasti myös virheellisiä tuotteita. Tuo-

tantolinjan kapasiteetin kasvattaminen toteutuksen jälkeen on vaikeaa. Sarjakoot on pyrittävä pitämään suurina, koska tuotteen vaihtaminen toiseen vaatii pitkän asetusajan. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 475.)

6.3 Funktionaalinen layout

Funktionaalisessa layoutissa työkoneet ja laitteet on järjestelty työtehtävän mukaisesti. Esimerkiksi kaikki porakoneet ovat omalla alueellaan ja hitauspaikat ovat hitsaamossa. Funktionaalisessa layoutissa tuotantomäärät ja tuotetyypit voivat vaihdella huomattavasti. Konekanta muodostuu tavallisesti monipuolisista yleiskoneista, joilla voidaan valmistaa tehokkaasti erilaisia tuotteita. Automaatiojärjestelmät eivät sovellu hyvin tällaiseen layoutiin, koska se menettää silloin joustavuutensa. Tuotannonohjaus muodostuu hankalaksi, johtuen suurista välimatkoista ja töiden vaiheistuksen oikea-aikaisuudesta. Läpimenoaika kasvaa edellä mainitusta johtuen.

Funktionaalisen layoutin toteuttaminen on helppoa ja halpaa verrattuna tuotantolinjaan. Myös kapasiteetin kasvattaminen on joustavaa, samoin kuin erilaisten tuotteiden valmistaminen. Tuottavuus ja kuormitettavuus ovat tuotantolinjaan verrattuna matalampia. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 475- 476.)

6.4 Solulayout

Solulayout on itsenäinen, erikoneista ja työpaikoista muodostunut ryhmä, joka on erikoistunut tiettyjen osien valmistamiseen tai työvaiheiden suorittamiseen. Solujen läpäisyajat ovat huomattavan lyhyet funktionaaliseen layoutiin verrattuna. Solussa pystytään valmistamaan joustavasti juuri niitä tuotteita mille se on suunniteltu. Tuotteiden eräkoot ja tuotantomäärät voivat vaihdella paljon, yksittäiskappaleista suurempiin sarjoihin. Tuotannonohjaus on helppoa, koska solu muodostaa vain yhden kuormituspisteen. Solulayoutin etu näkyy parhaiten laadun parantumisessa, koska tuotteita pystytään valvomaan niitä tehtäessä. Solulayoutin käyttö kasvattaa työntekijöiden motivaatiota ja tuottavuutta, koska työntekijä voi suunnitella työnjaon, tehtävänsä ja niiden kierron. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 477- 478.)

7 TYÖNKULUN MUODOSTUMINEN JA LÄPÄISYAIKA

7.1 Työvaihe

Työvaihe määritellään kokonaisuutena, joka voidaan tehdä yhdellä työpaikalla, yhtäjaksoisesti ja saman henkilön tekemänä. Työvaiheiden välissä on muita toimenpiteitä, kuten siirtoja, tarkastuksia ja odotuksia. Työvaihe vaatii oman käynnistysimpulssin, joka riittää vaiheen kaikkien osien käynnistykseen. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 48.)

7.2 Työnkulku

Peräkkäiset työvaiheet muodostavat työnkulun. Työnkulkua voidaan havainnollistaa työvaihe- ja työnkulkukaaviolla. Työnkulun suunnittelua sanotaan vaiheistukseksi. Työnkulku on valmistusjärjestelmän suunnittelun perusta. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 48.)

7.3 Kapasiteetti

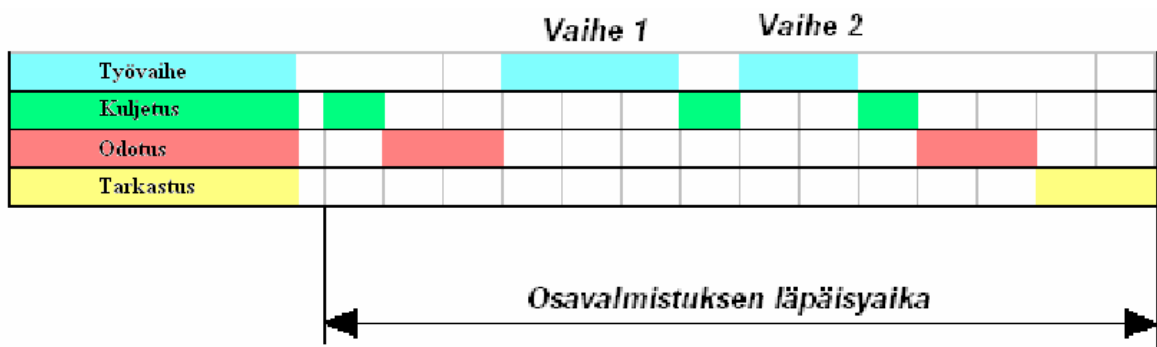
Kapasiteetti on tuotantokykyä kuvaava mittari. Se ilmaisee tuotantoyksikön enimmäissuorituskyvyn aikayksikössä. Kapasiteetin hallinta perustuu työpisteen kapasiteettiin ja suunniteltujen töiden kuormitukseen. Kuormitus kertoo kuinka paljon suunniteltu tuotanto kuormittaa kapasiteettiä. Kuormitus voidaan ilmaista esimerkiksi kapasiteettimääränä. Kuormitussuhde kuvaa tietyn ajanjakson suhteellisen kuormituksen käytettävissä olevaan maksimi kapasiteettiin verrattuna. Kuormitussuhteen laskennassa käytetään kaavaa 1. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 399.)

$$\text{Kuormitussuhde} = \frac{\text{Kuormitus} * 100 \%}{\text{Kapasiteetti}} \quad (1)$$

Kuormitussuhteen laskennassa järjestelmän kuormitus jaetaan maksimikapasiteetilla. Tästä saatava arvo kerrotaan 100 prosentilla. Näin saadaan prosenttiluku, joka kertoo kuinka paljon järjestelmää kuormitetaan.

7.4 Läpäisy aika

Läpäisy aika voidaan pitää tuotantojärjestelmän tärkeimpänä mittarina (kuva 3). Se kertoo, kuinka kauan aikaa menee tuotteen valmistuksen aloittamisesta sen valmiiksi saamiseen. Läpäisy aika ei kuvaa tuottavuutta tai tuotteen vaatimaa valmistusaikaa. Läpäisy aika voidaan määrittää koko tilaukselle, valmistukselle, osavalmistukselle ja kokoonpanolle. Työ- vaiheet ovat usein pieni osuus läpäisy ajasta. Läpäisy aika kerryttää yleisesti eniten odot- taminen, kuljetukset, tarkastukset. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 53- 54.)



Kuva 3. Osavalmistuksen läpäisy ajan muodostuminen. Työ vaiheen aikana kappale jalostuu. Muut vaiheet ovat pakollisia sivuaikoja, niiden aikana kappale ei jalostu.

7.5 Läpäisy ajan merkitys

Läpäisy ajalla on monia vaikutuksia yrityksen toimintaan ja kilpailukykyyn. Lyhyt läpäisy- aika on mittari hyvin toimivasta, joustavasta ja tehokkaasta tuotantojärjestelmästä.

Lyhyt läpäisy aika mahdollistaa lyhyet toimitusajat, sekä paremman tuotannonohjauksen. Tämä vähentää suoraan tuotevarastoja sekä puolivalmisteverastoja. Lyhyen läpäisy ajan tuotannossa tuotteita tehdään peräkkäin ja vähemmän rinnakkain, minkä vuoksi kesken- eräisiä töitä ei ole niin paljon. Lyhyen läpäisy ajan tuotannossa ei aines- ja aihiovarastoja voi supistaa, koska nopea tuotanto vaati nopean varaston toiminnan.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 55.)

7.6 Läpäisyajan lyhentäminen

Läpäisyajojen lyhentämisen keinoina ovat valmistuserien koon pienentäminen ja välivarastojen poistaminen. Valmistuserän koko vaikuttaa huomattavasti läpäisy aikaan. Suurten erien läpäisyajat kasvavat, koska eri työvaiheiden väliset odotusajat kasvavat eräkoon suhteessa. Läpäisy aikaa voidaan lyhentää selkeyttämällä materiaalivirtoja ja sijoittamalla työpisteet tuotteiden valmistusvaiheiden mukaiseen järjestykseen. Näin saadaan kuljetukset minimiin. Ei ole taloudellisesti kannattavaa tehdä pieniä eräkojoja, jos asetusajat ovat pitkät. Tällöin kapasiteetti jää asetusten tekoon, joten kuormitusasteet jäävät mataliksi. Mitä pienemmät asetusajat ovat, sitä pienemmät valmistuserät ovat kannattavia. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 491- 49.)

Asetusaikoja pystytään pienentämään teknisillä ratkaisilla ja oikealla organisoinnilla. Asetukset voidaan tehdä edellisen työvaiheen aikana. Automaattisilla valmistusjärjestelmillä saavutetut edut perustuvat osittain lyhyisiin asetus aikoihin. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 491- 49.)

Läpäisyajojen lyhentyminen vaikuttaa tuotteiden ja toiminnan laatuun. Nopeassa pienerä tuotannossa virheet ja häiriöt tulevat nopeasti esille, jolloin niihin pystytään silloin reagoimaan nopeasti. Haittapuolena on tuotannon nopea pysähtyminen. Virheiden vaikutukset heijastuvat nopeasti tuotantoon, joten henkilöstö motivoituu helpommin virheiden karsimiseen ja ehkäisyyn. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 491- 49.)

Tuotantoprosessin tuottavuus kehittyy läpäisyajan lyhentyessä. Tämä selittyy osittain toiminnan laadun parantumisella, koska virheiden ja ongelmien aiheuttamat kustannukset pienenevät. Hyvä layout ja selkeä materiaalivirta vähentävät ohjauksen tarvetta. Näin työntekijät pystyvät keskittymään työtehtäviin. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 491- 492.)

Ruotsalaisen teollisuustutkimuksen tuloksissa havaittiin, että läpäisyajan puolittaminen vähentää tuotantokustannuksia 8,5 %, keskeneräistä tuotantoa 47 %, sitoutuvaa pääomaa 15 % ja lisää kannattavuutta 9,5 %. (Pims/ Indevo 1992.)

7.7 Vaihtelun merkitys tuotantojärjestelmässä

Suurin osa tuotteen läpäisyajasta koostuu odottamisesta. Järjestelmistä voidaan erottaa kolmenlaista odottamista:

- Valmistusresurssi odottaa tuotetta tai koneenkäyttäjää.
- Tuote odottaa valmistusresurssia tai toista tuotetta.
- Asiakas odottaa tuotetta.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 200.)

Odottaminen aiheutuu järjestelmässä ja/tai järjestelmän ympäristössä olevasta vaihtelusta ja siitä johtuvasta jonojen muodostumisesta. Jonoja saattaa esiintyä vaikka järjestelmän käyttösuhte olisi pitkällä aikavälillä huomattavasti alle 100 %. Kun kysyntä ja kapasiteetti saavuttavat tasapainon, jonot katoavat. Käyttösuhteen ollessa alhainen tuotteet pystytään tekemään nopeasti ja vapaa kapasiteetti riittää purkamaan jonoja. Käyttösuhteen ollessa korkea ollaan esimerkiksi konerikon jäljiltä tilanteessa jossa jono on muodostunut. Jonon purkaminen on tämän jälkeen työlästä, koska käytettävää kapasiteettiä on vähän. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 200.)

Vaihtelua vähentämällä voidaan lyhentää odotusaikaa. Tämä on kuitenkin vaikeaa, koska vaihtelu on peräisin ympäristöstä. Materiaalitoimittajien ja toimitusaikojen kehittäminen auttavat vaihtelun vähentämisessä. Tietty vaihtelu järjestelmissä on pakko hyväksyä ja pyrkiä kehittämään järjestelmää mahdollisimman vähän vaihtelevaksi. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 200.)

8 TYÖNTUTKIMUS JA MITTARIT

Tuotannon suunnittelussa tarvitaan mittareita, joita käytetään tuotantojärjestelmän suunnitteluun, sekä tavoitteiden ja tehokkuuden mittaamiseen. Ilman mittausta prosessin kehittäminen ja näkemys omasta toiminnasta jää mielipiteiden ja tuntuman varaan. Mittareilla johdetaan ja analysoidaan tuotannon keskeisten tavoitteiden toteutumista. Yleisimpiä käytössä olevia mittareita ovat kustannustehokkuus, tuottavuus, tuotteiden laatu sekä toimintavarmuus. Seuraavassa hyvän mittarin ominaisuudet:

- Mittaa todellisuudessa sitä suuretta, mikä sen tarkoitus on.
- Mitattavan arvon satunnaisvirheen vähäisyys.
- Mittarista saadaan suurin mahdollinen hyöty.

(Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 398.)

8.1 Työntutkimus

Työntutkimus on ihmisten, materiaalien ja tuotantovälineiden yhteistoiminnan järjestelmällistä tutkimista. Sen päämääränä on löytää paras menettelytapa, hyvien työolosuhteiden luominen sekä työn suorittamiseksi tarvittavan ajan määrittäminen.

Työntutkimuksen tavoitteena ovat:

1. Ajankäytön tehostaminen. Työaika käytetään mahdollisimman tehokkaasti, tuottamattomia aikoja minimoiden.
2. Työnkulun tehostaminen. Toisiaan seuraavien työvaiheiden kulkeminen tehdään mahdollisimman tehokkaaksi.
3. Yksittäisten työvaiheiden tehostaminen. Työtapojen, välineiden ja olosuhteiden kehittäminen.
4. Työliikkeiden kehittäminen. Työliikkeiden yksityiskohtainen parantaminen tehokkuuden lisäämiseksi sekä ergonomian ja turvallisuuden kehittäminen.

(Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 491)

8.2 Työnmittaus

Työnmittauksella mitataan työntekijän tuoteyksikköä kohti tekemää työn määrää. Työnmäärä mitataan kokeneen työntekijän normaalioloissa tekemän työn pohjalta. Työmenetelmien vertailussa, tuotteiden hinnoittelussa, kuormitussuunnittelussa ja palkkauksen perustana sekä valmistusmenetelmien kehittämisessä käytetään työmäärän mittausta. Työnmittaukseen käytettävät menetelmät:

1. Kelloaikatutkimus voidaan jakaa normaaliaikatutkimukseen ja jatkuvaan ajankäytöntutkimukseen. Normaaliaikatutkimusta käytetään, kun työ ja niiden vaiheet ovat samanlaisia. Työ jaetaan osiin, joiden suoritusta mitataan erikseen. Jatkuvaa ajankäytön tutkimusta käytetään silloin, kun työtehtävät eivät toistu, eikä työjärjestys ole sama. Tällöin mittaukset tehdään suurina kokonaisuuksina.
2. Havainnointitutkimuksessa työaika jaotellaan eri aikalajeihin.
3. Haastattelulla saadaan tietoa työvaiheiden ongelmista.
4. Vertailussa verrataan työtä vastaavanlaiseen työhön.
5. Aikalaskelmilla koneiden työaika saadaan selville laskemalla työkiertoon kulunut aika.
6. Laskelmat perustuvat työn jakamiseen pieniin osiin. Työosille on määritetty yleis-päteviä suoritusaikoja. Työaika saadaan laskemalla työosiin kuluneet ajat yhteen. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 492- 493)

8.3 Ajankäytöntutkimus

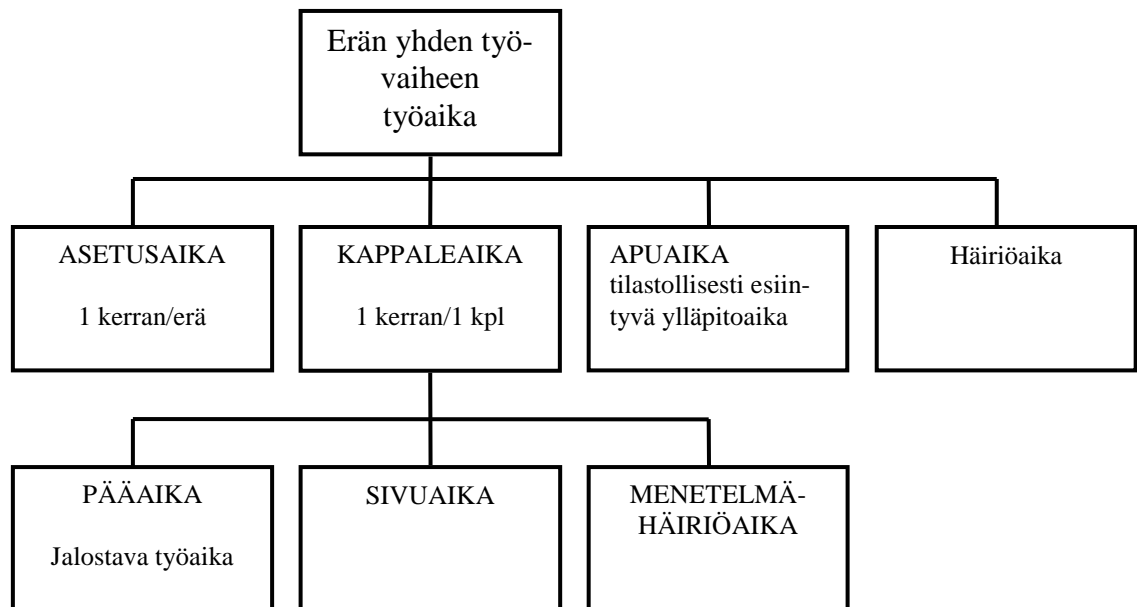
Ajankäytöntutkimus perustuu työajan jakamiseen tehokkaaseen työaikaan ja erilaisiin aikahäviöihin. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää työmenetelmien epäkohdat, joita pyritään kehittämään eri menetelmin. Ajankäyttötutkimuksen päätavoitteet ovat:

1. Työvoiman ja koneiden käytöstä ilmenevien häiriöiden suuruus ja niiden aiheuttajien selvittäminen. Tutkimuksella etsitään keinot aikahäviöiden pienentämiseen
2. Ajankäyttötutkimus voidaan toteuttaa jatkuvana ajankäytöntutkimuksena tai havainnointitutkimuksena. Jatkuvassa ajankäytöntutkimuksessa seurataan työntekijää koko ajan. Tulokset kertovat heti, kuinka työaika jakautuu. Menetelmä antaa varmoja tuloksia, mutta vaati paljon resursseja. Havainnointitutkimuksessa seurataan työn tekemistä vain tiettyinä ajan hetkinä. Jokaisesta aikalajista mitataan satunnai-

sesti aika. Työajan jakauma määritetään saadusta aineistosta tilastollisesti. Menetelmä on helppo tehdä, mutta aikahäviöiden määrittely on vaikeata.

- Arvioidaan apuaikalisä työnmittausta varten. Ajankäyttötutkimus perustuu työajan jaotteluun eri aikalajeihin. Yleisesti käytetty kuvio käy ilmi kuvasta 4.

(Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 491- 492.)



Kuva 4. Työajan jakautuminen (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50).

Kappaleaika

Kappaleaika sisältää pääajan, sivuajan ja menetelmähäiriöajan (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50- 52).

Pääaika

Pääaikana tapahtuu jalostavatyö (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50- 52).

Sivuaika

Pääaikaa ei pystytä toteuttamaan ilman sivuaikaa. Sivuaika koostu:

- kappaleen tuonnista koneelle ja kiinnittämisestä
- työkalunvaihtoista
- koneen paikoitusliikkeistä
- mittauksista
- työkappaleen irrotuksesta ja siirrosta pois koneelta.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50- 52.)

Menetelmähäiriöaika

Menetelmähäiriöaika koostuu työmenetelmään sidottuihin väistämättömiin häiriöihin. Häiriö voi olla poranterän katkeaminen, sorvinterän hajoaminen. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50- 52.)

Apu aika

Apu aika on tuotantoedellytysten ylläpitoon kuluva aika. Tyypillisiä syitä ovat terien kulumisen ja terien vaihtaminen koneeseen. Koneen puhdistukset, voitelut ja muut vastaavat ylläpito toimenpiteet ovat apuaikaa. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50- 52.)

Ohjelma-aika tai käsiaika

Ohjelma-ajaksi kutsutaan aikaa, jonka kone käy ohjauksensa ohjaamana. Sen vastakohtana on käsiaika, jolloin toiminta tapahtuvat manuaalisesti ohjattuna. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50- 52.)

Yksikön valmistusaika

Edellä mainitut työajat kuluttavat tuotantoyksikön tuotantoaikaa, mutta vain pääaikana tuote jalostuu. Valmistusyksikössä voi olla useampia toimintoja jotka käyvät vain osan ajasta ja osa niiden työajasta limittyä. Tuotantoyksikölle määritettävä aika on yksikön valmistusaika. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50- 52.)

Jos valmistusyksikössä on avainkone, yksikön valmistusaika on tämän koneen mukainen. Jos yksikössä on toisensa korvaavia koneita, valmistusaika on koneiden aikojen summa. Valmistusaikaa käytetään laskettaessa:

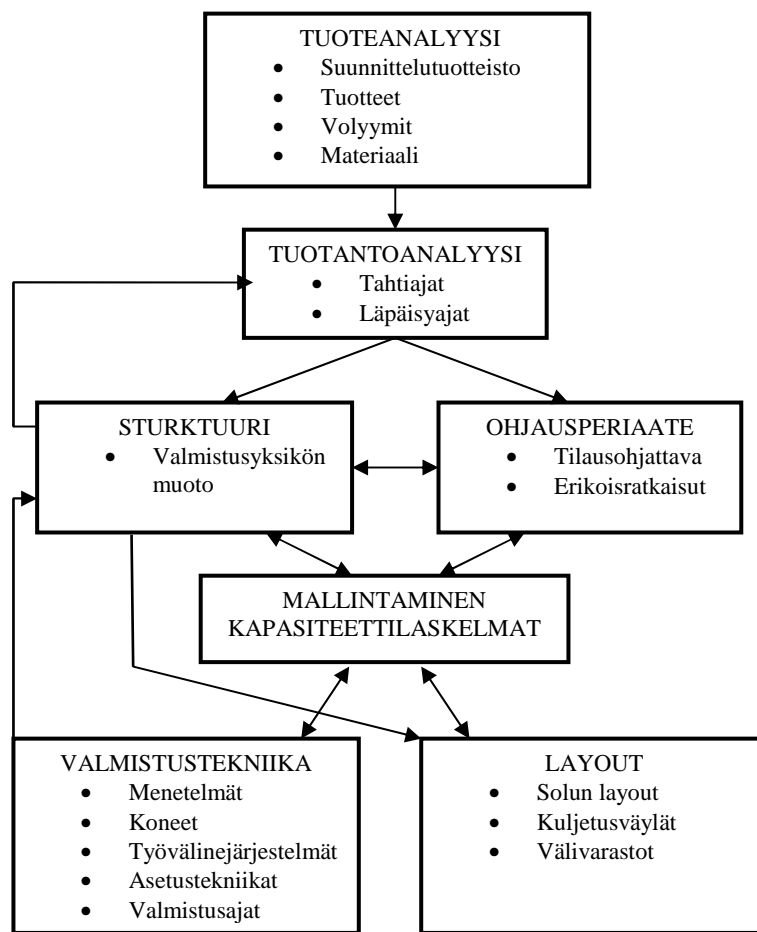
- valmistusyksikön kapasiteettia
- tuotteen kuormitettavuutta
- valmistusyksikönkuormaa
- valmistusyksikön kustannusvirtaa
- tuotteen kustannuksia.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 50- 52.)

9 TUOTANTOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Tuotantojärjestelmän suunnittelua voidaan tarkastella vaiheittain menevällä ohjausprosessina. Vaiheet ja niiden käyttö vaihtelevat toimiala- ja yrityskohtaisesti. Kaaviossa 1 on esitetty tuotannonsuunnitteluprosessi. Prosessi on selkeästi etenevä, mutta on huomioitava että kokoajan tapahtuu uudelleensuunnittelua prosessin edetessä. Mitä yksityiskohtaisempi ja monimutkaisempi suunnitelma on, sitä enemmän tapahtuu uudelleensuunnittelua.

(Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 409.)



Kaavio 1. Tuotantojärjestelmän suunnittelu (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s.301).

9.1 Suunnittelutuotteisto

Tuotantojärjestelmän suunnittelu vaatii tuotteen, jonka valmistamiseksi järjestelmä suunnitellaan. Kustakin valmistettavasta tuotteesta ja variantista otetaan tyypilliset edustajat. Yksi merkitsevä valintaperuste on tuotteen koko, joka vaikuttaa suoraan valmistusmenetelmiin ja kalustoon. Suunnittelutuotteisto vähentää nimikemäärää, jota on tuotantojärjestelmän suunnittelussa käsiteltävä yksityiskohtaisesti. Suunnittelutuotteiston tulee edustaa koko tuotantojärjestelmän tuotteistoa, siten että eri variantit, välikoot, rinnakkaistuotteet ja vastaavat pyritään lajittelemaan suunnittelutuotteistoon sopiksi malleiksi. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 302.)

Suunnittelutuotteistolle annetaan kunkin tuotteen vuosivolyymi. Tämä tulee tehdä niin, että se vastaa suunniteltavan tuotantojärjestelmän perustana olevaa kokonaisvuosivolyymia, näin syntyy suunnittelutuotanto. Volyymit voidaan määritellä tuotantojärjestelmän valmistusvuodeksi ja siitä esimerkiksi kolmen vuoden päähän. Näin muutostrendi saadaan näkymään ja se voidaan ottaa suunnittelussa huomioon. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 302.)

9.2 Tuoteanalyysi

Analyysin avulla selkeytetään tuotteiden olennaisia piirteitä, ja se antaa perustan tuotantojärjestelmän suunnittelulle. Seuraavassa on kuinka tuotteet voidaan jaotella:

- tuotteiden rakenne, moduulit ja ydinosat
- ominaisuudet (tarkkuus, materiaalityypit)
- volyymit
- asiakasvaateet, markkinointiaika ja versioiden määrä.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 302.)

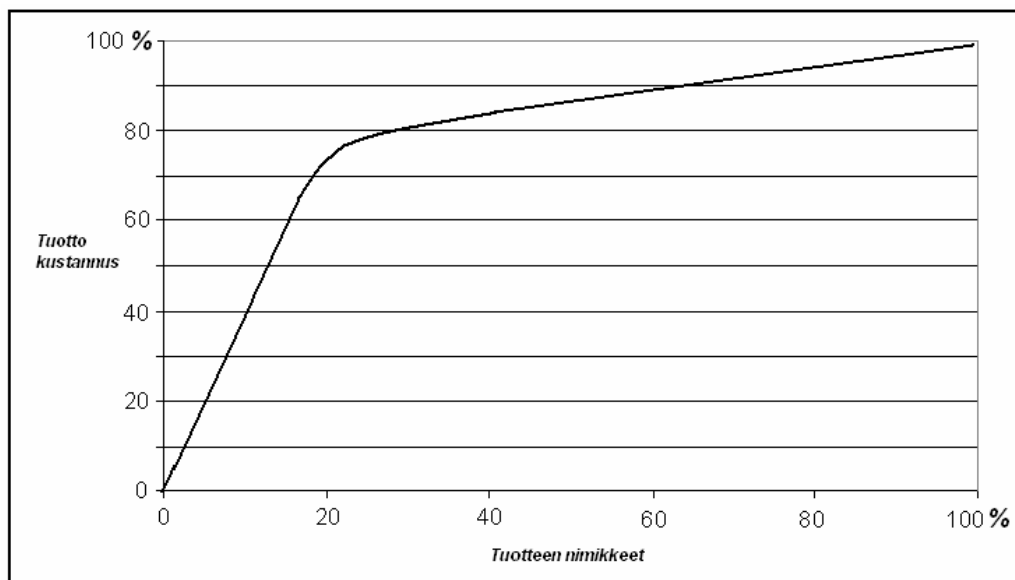
9.3 Tuoteanalyysiin käytettäviä malleja

20/80-sääntö

Yrityksen tuotevalikoimassa pätee usein tuotteiden kohdalla seuraavat säännöt:

1. 20 % tuotteista tuo 80 % yrityksen tuotosta.
2. Eri tuotteiden kohdalla nimikkeistä 20 % vastaa 80 % koko tuotteen osien kustannuksista.

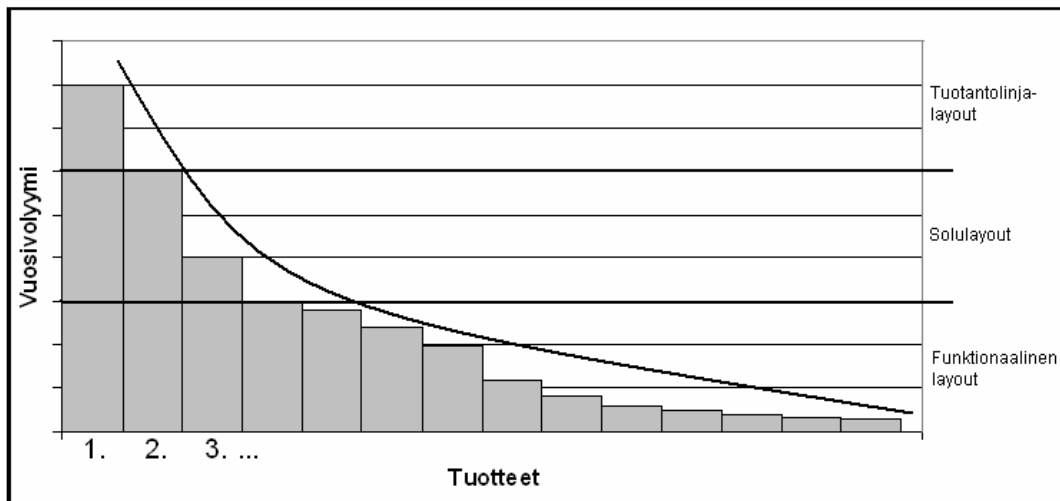
Säännön avulla pystytään valikoimaan ne tuotteet, jotka ovat lopputuloksen kannalta tärkeimpiä (kuva 5). (Rationalisointi Ry, Tehtaan layout-suunnittelukurssi.)



Kuva 5. 20/80-sääntö. Kuvaajan perusteella 20 % nimikkeistä vastaa 80 % tuotteen osien kustannuksista.

Tuote-määrä-piirros

Tuote-määrä-piirroksessa (kuva 6) tuotteet tai tuotekokonaisuuden osat on järjestetty kapalemääräisen vuosivolyymin mukaiseen järjestykseen. Siitä saa viitteitä valmistusjärjestelmän lähtökohdista. Yleisen periaatteen mukaan jos kuvaajan käyrä on syvä, on aihetta jakaa tuote eri layouteihin. Jos kuvaajan käyrä on matala, käytetään yhtä layoutia. Suoria päätöksiä kuvasta ei kuitenkaan voi tehdä. Analysoinnissa täytyy ottaa huomioon kokonaisuus.



Kuva 6. Tuote-määrä-piirros. Tuotteet tai tuotekokonaisuuden osat on järjestetty kappalemääräisen vuosivolyymien mukaiseen järjestykseen.

9.4 Tuotantoanalyysi

Tuotantoanalyysillä tutkitaan tarkemmin tuotantojärjestelmän suunnittelun teknisiä perusteita. Tuotantoanalyysin tärkein kysymys on, mitä järjestelmältä vaaditaan suunnittelutuotannon valmistamiseksi. Tahtiaika on todella havainnollinen suure, joka antaa selvän kuvan valmistuksen rytmistä. Esimerkiksi laitteita, joita toimitetaan 250 kpl/a, halutaankin toimittaa 1 000 kpl/a. Vuodessa on noin 220 työpäivää. Alkuperäisellä tuotannolla tuotetta olisi valmistettava noin yksi laite päivässä. Uudella tuotannolla tuotanto nelinkertaistuu, joten läpimenoaikaa täytyy nopeuttaa eri keinoin. Jos läpimenoaikaa ei saada riittävän alas, joudutaan tuotantolinjoja tekemään lisää. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 304.)

9.5 Struktuurin suunnittelu

Struktuurin suunnittelussa mallituotteistosta muodostetaan osakokoonpanoja ja edelleen osaryhmiä. Osaryhmät pitää koota valmistusteknologisesti siten samanlaisista osista, että niiden valmistukseen muodostuu järkevä valmistusyksikkö (solu). Osaryhmät ja niiden valmistusyksiköt voidaan jakaa seuraavasti:

- tuotantorakenteeseen (runko, rummut)
- ryhmäteknologiaan (akselit, pyörät)
- funktionaalisten solujen muodostumiseen (levyosat, koneistusosat).

Tuoteperusteinen periaate on tavoiteltavin. Sillä sidotaan valmistusyksiköt liiketoimintaan ja tuotannonohjaukseen. Näin syntyy selkeä kuva työntekijän omasta osuudesta toimintaan ja tulokseen. Kun lopputuotteet ovat samanlaisia, kehittyy valmistusyksikköön omaa osuutta vastaava kapasiteetti. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 304.)

Valmistusyksiköiden muodostamiseksi tehtävää valmistettavien osien ryhmittelyä varten on kehitetty erilaisia tekniikoita. Tärkein niistä on työnkulkukaavio. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 304.)

9.6 Työnkulkukaavio

Työnkulkukaaviota käytetään tehtaan tuotannon kulun selvittämiseen. Kaaviosta saa helposti selville työnkulun järjestyksen ja vaiheisiin kuluvan ajan sekä eri työvaiheiden välisen etäisyyden (kuva 7).

Aloitus:					Lopetus:							
Tuote:		Asiakas:				kuljetukset:						
Valm.määrä:		Sarj.koko:				1	2	3	4	5	6	
Kuvaus	Työnvaihe	Käsittely	Kuljetus	Varast. ja odotus	Tarkastus	Aika (s)	Aika (s)	Aika (s)	Aika (s)	Aika (s)	Aika (s)	
1.Varastossa	○	⊙	➡	▼	□							
2. Siirto katkaisukoneelle	○	⊙	■	▼	□							
3. Koneella	○	⊙	➡	▼	□							
4. Katkaisu	●	⊙	➡	▼	□							
5. Siirto kierteytyskoneelle	○	⊙	➡	▼	□							
6. Yläpään kierteytys	●	⊙	➡	▼	□							
7. Siirto puristuskoneelle	○	⊙	■	▼	□							
8. Puristimella	○	⊙	➡	▼	□							
9. Siirto kokoonpanoon	○	●	➡	▼	□							

○ = Työvaihe

⊙ = Käsittely

➡ = Kuljetus

▼ = Varastossa /odotus

□ = Tarkastus

Kuva 7. Työnkulkukaavio.

Työnkulkukaavion kuvaussarakkeessa kerrotaan, missä aihio on kyseisessä vaiheessa. Aihion ollessa kuvauksen mukaisessa vaiheessa merkitään mitä työlajeja aihiolle tehdään ja aika joka on mennyt kyseisessä vaiheessa. Työlajeja on yhteensä viisi: työvaihe, käsittely, kuljetus, varastossa tai odotus ja tarkastus. Näin edetään kuvaus sarakkeen ensimmäisestä rivistä viimeiseen. Lopuksi yhdistetään työlajit aikajärjestyksessä toisiinsa viivalla. Kaaviosta näkee näin suoraan kuinka, työlajit jakautuvat kappaleelle.

9.7 Valmistustekniikka

Kun struktuuri on muodostettu, suunnitellaan solujen sisäinen tekniikka. Tätä ennen pitää tietää tulevat käyttäjät ja miehitys, jolloin he voivat osallistua tulevan työpaikkansa suunnitteluun. Valmistustekninen suunnittelu kohdistuu:

- valmistusmenetelmiin
- solun konevalintoihin
- solun työvälineisiin
- asetusten minimointiin
- solujen sisäiseen layoutiin
- solun nosto- ja siirtolaitteisiin
- varastoitaviin materiaaleihin.

Valmistustekniseen suunnitteluun kuuluu valmistusaikojen laskeminen. Aikoja tarvitaan tehtaan tehon seurantaan, tuotantokapasiteetin laskentaan, kuormitukseen sekä palkkaukseen. Solun tuotanto on suunniteltava sellaiseksi, että se riittää tavoitellun kapasiteetin saavuttamiseen. Solun tekniikan suunnittelu lähtee tästä tavoitteesta.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 308.)

10 LAYOUTSUUNNITTELU

Suunnittelun perustana on järjestää alueet, koneet ja laitteet siten, että niiden käyttö olisi mahdollisimman tehokasta, kuitenkin niin että turvallisuus sekä työntekijöiden tyytyväisyys otetaan huomioon. Tilankäyttö ja sen muunneltavuus tulee järjestää siten, että se palvelee nykyistä ja tulevaa tuotantoa mahdollisimman hyvin. Konepaikkojen sijoitus ja koneiden valinta vaikuttaa merkittävästi tuotantotavoitteiden toteuttamiseen sekä valmistuksen kannattavuuteen. Suunnittelussa tehdyt valinnat vaikuttavat tuotannon kustannustehokkuuteen, laatuun, joustavuuteen sekä kilpailukykyyn. Layoutsuunnittelun perustavoitteet ovat:

- kaikkien layoutiin vaikuttavien tekijöiden yhdenmukaistaminen
- materiaalikuljetusten minimointi
- työn joustava kulku
- käytettävissä olevan tilan tehokaskäyttö
- työntekijöiden turvallisuus ja tyytyväisyys
- joustava järjestely, jota voidaan muuttaa tarvittaessa.

(Rationalisointi Ry, Tehtaan layout-suunnittelukurssi ja Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 475.)

10.1 Jatkuva virtaus

Layout suunnittelussa pätee yleinen sääntö: mitä vähemmän on rajapintoja ja liittymiä, sitä paremmat ovat sen tuottavuus ja ohjattavuus. Rajapintoja ei kuitenkaan saa vähentää menetelmien kustannuksella. Rajapintoja muodostuu työn keskeytymisestä, jokainen rajapinnasta johtuva keskeytyminen kasvattaa läpimenoaikaa. Tuotannon epätahtisuuden poistoon tarkoitettut varastot eivät kuitenkaan haittaa, jos ne eivät ole suuria. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 311.)

10.2 Muunneltavuus

Tuotteiden elinkaaren lyhentyessä ja teknologian kehittyessä sekä tuotteissa että tuotannossa, johtaa tarpeeseen saada valmistusjärjestelmästä muunneltava. Muunneltavuus on yksi joustavuuden laji. Tästä johtuen automaatiosovelluksissa joustavat ratkaisut menevät usein jäykkien ratkaisujen edelle, vaikka jäykkä ratkaisu olisi tehokkaampi. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 311.)

10.3 Automaatio

Automaation kannattavuus ja laatu riippuu paljon siitä, kuinka kappale soveltuu kyseisellä tekniikalla valmistettavaksi. Automaation tehokas ja kannattava käyttö pakottaa tuotteen konstruktion suunnittelun valitun teknologian asettamilla ehdoilla. Kun tuote soveltuu konstruktionsa puolesta automaattisesti valmistettavaksi, saadaan automaatiolla lisättyä helposti vuotuista tehollista kapasiteettia. (Suomen Automaatioseura Ry 2001, s. 4-6.)

Automaatio hankinta on kallista, tämä vaatii suuria valmistusmääriä tuotteen yksikkökustannuksen alentamiseksi. Automaatioon liittyvät suuren investoinnit kasvattavat taloudellista riskiä. Automaation käyttöönotto vaatii henkilöstön osaamisen kehittämistä. Osaamisen tarve on suoraan verrannollinen teknologian monimutkaisuuteen. (Suomen Automaatioseura Ry 2001, s. 4-6.)

11 JÄRJESTELMÄN MALLINTAMINEN

Mallintaminen on menetelmä jolla tutkitaan kohdetta, kohteesta tehdyn matemaattisen mallin avulla. Mallin avulla pystytään analysoimaan järjestelmän toimintaa ja kokeilemaan miten eri parametrit ja muutokset vaikuttavat sen suorituskykyyn. Kuvaamalla ongelma tai idea mallintamalla ymmärretään toiminta kokonaisuutena paremmin ja näin pystytään arvioimaan vaihtoehtoja, joiden pohjalta syntyy päätökset järjestelmästä. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, s. 486.)

Mallia rakentaessa täytyy päättää, mitä järjestelmän elementtejä sisällytetään malliin. On oltava selkeä tavoite jotta päätös voidaan tehdä. Mallinnuksen onnistuminen riippuu siitä kuinka hyvin mallintaja pystyy määrittämään merkitykselliset elementit ja näiden väliset vuorovaikutukset. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 321.)

Mallilla verrataan eri vaihtoehtojen keskinäistä paremmuutta jollakin tunnusluvulla mitattuna. Tiedyt tekijät määritellään parametreiksi, joiden vaikutus selvitetään kokeilemalla. Tuloksista saadaan arviot eri vaihtoehtoista tunnusluvuin määriteltynä. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 319.)

11.1 Ongelman määrittäminen

Ensimmäisenä tunnistetaan ongelma, eli syy siihen miksi mallintamista käytetään. Kun ongelma on tunnistettu, aletaan määrittää tavoitteita. Tavoite voidaan mieltää kysymykseksi, johon tutkimuksen avulla etsitään vastausta. Tavoitteesta tulisi käydä selville mitä aiotaan saavuttaa, miten mitataan ja mitkä ovat rajoitteet. Tämän vastauksen on oltava luettavissa loppuraportissa. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 330.)

11.2 Raporttien määrittely

Kun malli on valmis, sille ryhdytään kokeilemaan erilaisten tekijöiden vaikutusta seurattaviin tunnuslukuihin. Nämä tunnusluvut saadaan mallista raporttien muodossa. Tässä vaiheessa määritetään tekijät, joiden vaikutusta tutkitaan ja mitä tuloksia mallista kerätään. Mallintamisesta saadut raportit palvelevat kahta tarkoitusta. Niiden avulla voidaan mitata,

kuinka hyvin tutkimuksen tavoitteet on saavutettu ja ne voivat paljastaa syitä, jotka estävät tavoitteisen saavuttamisen. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 332.)

11.3 Mallin laajuuden määrittely

Tulosten tarkkuus kasvaa mallin laajuuden ja yksityiskohtaisuuden mukaan. Melko nopeasti pystytään saavuttamaan hyvä suhteellinen tarkkuus. Yksityiskohtia lisäämällä suhteellinen tarkkuus kasvaa yhä hitaammin ja siitä seuraa mallinnuksen ajan piteneminen. Mallin laajuuden ja yksityiskohtaisuuden on oltava sillä minimitasolla, joka juuri riittää tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseen. Yksityiskohtia voidaan välttää seuraavilla keinoilla:

- Kuvataan joukko valmistusresursseja. (koneryhmä, solu)
- Mallinnetaan kappale-erä yhtenä kappaleena.
- Turhat osat voidaan sulkea pois kokoonpanosta.
- Käytetään kuvaavia aikayksiköitä.
- Jaetaan iso malli useisiin osiin.

Lopuksi tehdään luettelo malliin kuuluvista elementeistä. Jokaisesta elementistä kirjataan ylös vaadittava tarkkuustaso. Tätä voidaan käyttää tiedon keräyksen runkona. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 336- 337.)

11.4 Tiedon keräys ja analysointi

Mallin lähtötiedot voidaan jakaa kolmeen luokkaan:

- mallin rakentaminen
- koeparametrien lähtötason määrittäminen
- mallin oikeellisuuden varmistaminen.

Oikeellisuuden varmistamiseen käytetään järjestelmästä saatavaa historiatietoa, jota verrataan malliin. Mallinnettaessa olemassa olevaa järjestelmää käytetään koeparametrien lähtötason määrittämiseen nykyisiä arvoja. Uutta järjestelmää rakennettaessa käytetään suunniteltuja arvoja. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 336 - 337.)

Aina ei saada kaikkea lähtötietoa kerättyä. Tutkimuksen on kuitenkin edettävä, joten puuttuva lähtötieto täytyy korvata. Yksinkertaistaminen on käyttökelpoinen keino, mutta se ei saa olennaisesti vaikuttaa tarkkuuteen. Usein joudutaan käyttämään arvioita, mutta arvion on perustuttava useamman henkilön näkemykseen. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 337.)

Vaihtelu kuuluu luonnollisena osana valmistusjärjestelmiin, tällöin esimerkiksi työvaiheiden pituus vaihtelee. Lähtötietojen osalta tämä tarkoittaa neljää vaihtoehtoa:

- Käytetään keskiarvoa.
- Käytetään kerättyjä arvoja suoraan hyväksi.
- Muodostetaan tiedoista kokeellinen jakauma ja selvitetään hajonta.
- Sovitetaan havaintojoukko normaalijakaumaan.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 337.)

11.5 Luotettavuusvälin laskeminen

Yhden mallin perusteella saadaan yksi havainto. Toistamalla mallia näytekokoa kasvaa ja tulosten luotettavuus paranee. Laskemalla näytteestä esimerkiksi läpäisyajan keskiarvo tai keskihajonta saadaan piste, joka on odotusarvo perusjoukon parametreille. Hyvän luotettavuuden saamiseksi:

- mitataan toistot 5-10 kertaa
- lasketaan halutulle muuttujalle jokaisesta toistosta keskiarvo
- määritetään toistojen keskiarvo
- määritetään keskihajonta.

(Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 338- 339.)

11.6 Mallien vertailu

Mallien avulla vertaillaan kahden tai useamman vaihtoehdon paremmuutta keskenään, yhden tai useamman tavoitteen suhteen. Malleilla voidaan pyrkiä määrittämään optimaalinen ratkaisu. Silloin ennalta määrättyjä vaihtoehtoja ei ole, joten joudutaan yhden tai useamman parametrin arvoja muuttamalla etsimään parasta ratkaisua tavoitteen kannalta. Tämä on usein työlästä ja johtaa useisiin eri malleihin. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 355- 356.)

11.7 Tulosten analysointi

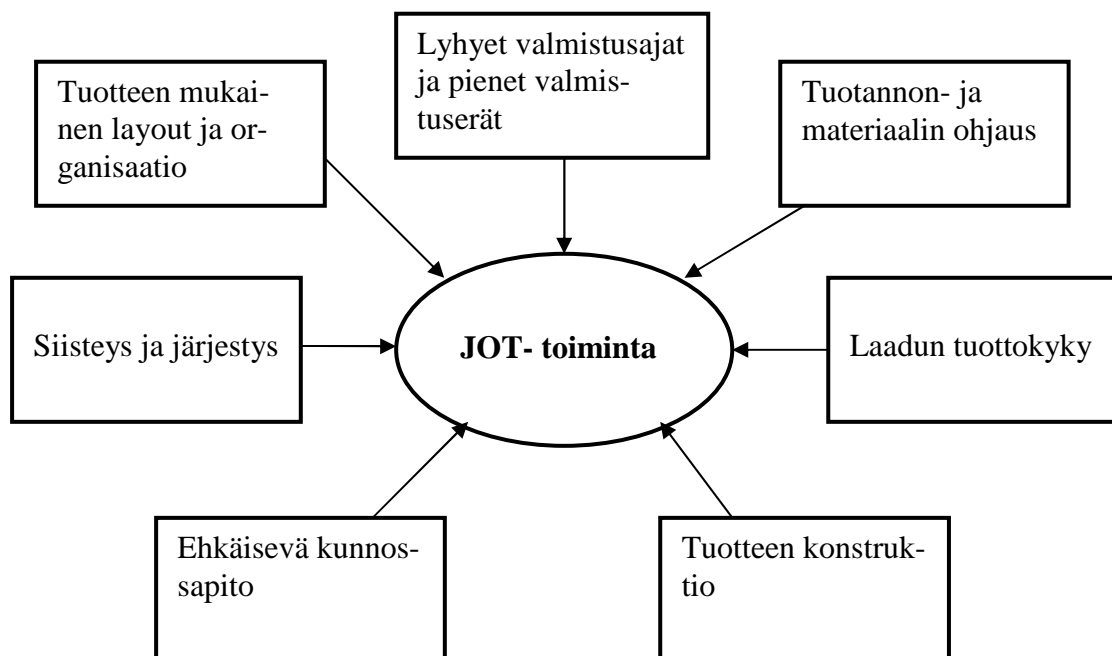
Malleista saatuja tuloksia analysoidaan vertailemalla eri kokeiden tuloksia keskenään. Analysoinnissa pitää ottaa huomioon tulosten luotettavuus ja niiden vaikutuksen arvo. Tuloksia täytyy analysoida kokonaisuutena, ottaen huomioon halutut tavoitteet. (Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen 1997, s. 355- 356.)

12 KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Tuotannon uudelleenkehittämisessä täytyy perehtyä toimintaan, jolla voidaan saavuttaa mahdollisesti parempi tuotannon kontrollointi ja tehokkaampi tuotannon ohjattavuus yksinkertaisilla muutoksilla. Nämä toiminnot ovat yleisesti käytössä nykysteollisuudessa. Toimintojen avulla on pystytty yleisesti parantamaan tuotantotehokkuutta. Seuraavassa tarkastellaan JOT:n ja Leanin keinoja.

12.1 JOT

JOT eli juuri oikeaan tarpeeseen (kaavio 2), toiminnalla pyritään parempaan tuotannon suunnitteluun ja kontrollointiin. Menetelmä sopii parhaiten yrityksiin joissa tuotanto on toistuvaa mutta yksittäisestä tuotannosta on saatu myös hyviä tuloksia. Välittömien työtuntien vähentäminen saavutetaan yksinkertaisilla menetelmillä. Menetelmiä ovat tuotteen modulointi, tuotteen mukainen layout, tuotannon virtautus ja solutuotanto. Myös tuotteen läpäisyaikaa on pystytty pienentämään. Tuotteen kiertoa yksinkertaistamalla päästään asettuun päämäärään. (Tekninentiedotus 12/1987, s. 3-5.)



Kaavio 2. JOT-toiminnan keinot.

Perusperiaate on, että tavarat ja laitteet ovat siellä, missä niiden on paras olla tuotannon kannalta. Samalla pyritään minimoimaan työmäärä, tilantarve ja työkalut. JOT on riippuvainen hankkijan- ja käyttäjän joustavuuden tasapainosta. Se vaatii yhteistyötä ja työnantajan panosta prosessiin. Huomioitava kuitenkin on, ettei toimintamalli toimi heti, vaan ohjaa hiljalleen kohti toivottua kehitystä. (Tekninentiedotus 12/1987, s. 3- 5.)

12.2 Lean

Tavoitteena on keskittyä vain asiakkaalle lisäarvoa tuovaan toimintaa. Tällä säästetään aikaa ja kustannuksia. Tarkoituksena on minimoida jalostamaton aika, pienentää varastoja, lyhentää läpimenoaikaa ja lisätä tiimityöskentelyn merkitystä. Erityinen etu on, että paljon on tehtävissä ilman suuria investointeja. Lean-ajattelun keskeiset periaatteet johtamisesta ovat:

- tulokset tehdään yhteistyössä
- selkeät tavoitteet ja seuranta
- tulosvastuullinen delegointi
- monitaitoinen ja yritteliäs henkilöstö
- asiakkaan, omistajan ja henkilöstön yhteinen etu

Keskeiset periaatteet toimintatavoissa ovat:

- perustana asiakkaalle tuleva lisäarvo
 - huomion kiinnittäminen kokonaisuuteen
 - jatkuva kustannusrakenteen keventäminen
 - tiedonkulun suoruus ja avoimuus
 - jatkuva oman toiminnan kehittäminen
 - joustavat ja nopeat toimitusketjut
 - henkilöresurssien järkevä yhdistäminen nykyaikaiseen tuotantotekniikkaan.
- (Kajaste, Liukko, 1995, s. 8.)

13 VALMISTUSJÄRJESTELMÄN TUTKIMINEN

13.1 Tiedonkeruututkimus

Tutkimus aloitettiin tutustumalla valmistusprosessiin ja valmistettaviin tuotteisiin. Tutkimuksessa seurattiin tuotteiden kulkua prosessissa ja havainnoitiin epäkohtia. Avuksi saatiin tiedostoja tavallisimmista tuotteista sekä volyymitiedot kahdeksan kuukauden ajalta. Eri työvaiheiden toimintoihin ja koneiden käyttämiseen tutustuttiin. Samalla keskusteltiin prosessin epäkohdista.

13.2 Työnmittauksen tutkimus

13.2.1 Suunnittelutuotteisto

Valmistettavat putket jaoteltiin niiden ominaisuuksien ja valmistusmäärien mukaan niin, että valitut putket edustavat koko tuotantojärjestelmän tuotteistoa. Näin saadaan suunnittelutuotteisto, joka helpottaa järjestelmän mittauksien ja analyysien tekoa.

Suunnittelutuotteiston jaottelussa tärkeimmiksi tekijöiksi katsottiin putken fyysinen koko ja valmistusmenetelmä. Putken fyysinen koko muodostuu pituudesta ja halkaisijasta. Nämä ovat putkea tilattaessa ja suunnittelussa tärkeimmät tekijät, joten ne ovat myös valmistuksessa määräävinä tekijöinä. Historiatietojen pohjalta putket pystyttiin jakamaan helposti vuosivolyymin mukaisesti. Valmistusmenetelmään jako tehtiin, koska putkien viimeisessä sahauksessa on eroja, osasta putkista sahataan kummatkin päät tai vain toinen pää. On myös sellaisia putkia, joita ei taivuteta, ne vain katkaistaan sopivaan mittaan, minkä jälkeen ne ovat lähes valmiita. Kuvassa 8 on matriisi suunnittelutuotteistosta.

	Suorat putket (pituus < 1m)	Suorat putket (pituus ≥ 1m)	Putket, 2 katkaisua, (pituus < 1m)	Putket, 2 katkaisua, (pituus ≥ 1m)	Putket, 1 katkaisu, (pituus < 1m)	Putket, 1 katkaisu (pituus ≥ 1m)
halkaisija < 16mm	Putki 10 Putki 11	Putki 12	Putki 4 Putki 5 Putki 6	Putki 2 Putki 3	Putki 1	
halkaisija ≥ 16mm	Putki 13	Putki 14 Putki 15		Putki 7 Putki 8 Putki 9		

Kuva 8. Suunnittelutuotteiston jaottelu halkaisijan, pituuden ja työvaiheiden mukaan. Värikoodit selkeyttävät eri tuotteistoon jakoa.

13.2.2 Kelloaikatutkimus

Putken valmistaminen on todella nopeatahtista ja samankaltaisia työvaiheita on paljon. Normaaliaikatutkimus ottaa huomioon työn nopeuden ja työvaiheiden samankaltaisuuden, minkä vuoksi se sopii parhaiten tähän tutkimukseen. Tutkimuksessa selvitetään, kuinka putken valmistamisen työvaiheet jakautuvat tehokkaaseen työaikaan ja erilaisiin aikahäviöihin. Näin pystytään selvittämään työmenetelmien epäkohdat.

Mitattavia putkia valittiin suunnittelutuotteiston perusteella (kuva 8). Mittauksia tehtiin kolmen viikon ajalta, näin saatiin mahdollisimman suuri otanta putkista. Sopivat putket valittiin tuotantoon tulevista putkista. Jos suunnittelutuotteiston mukaista putkea ei ollut tuotannossa, tehtiin koesarjan, josta mitattiin vaiheajat. Vaiheaikojen mittaamisen pohjana käytettiin työnkulkukaaviota (liite 2). Työnkulukaavioon merkittiin jokaisen putkisarjan työnumero, asiakas, sarjakoko, vaiheajat ja työnkulku, myös sarjan aloitus- ja lopetusajat merkittiin. Mittauksia tehtiin 15:lle eri putkelle, jokaisesta työvaiheesta pyrittiin ottamaan kuusi otosta. Putkien sarjakoko vaihteli 5 ja 30 välillä.

Suunnittelutuotteiston kaikkia putkia ei saatu mitatuksi mittausajankohtana. Mittaamatta jääneet putket eivät olleet tärkeitä lopullisen tuloksen kannalta. Tarvittaessa mittaamattomien putkien vaiheajat saadaan selville mallintamalla. Suunnittelutuotteisto antaa näin hyvän kuvan putkien todellisesta valmistamisesta. Siitä nähdään suoraan, miten putkien variaatiot todellisuudessa jakautuvat.

13.3 Haastattelututkimus

Haastattelut käytiin yhdessä kahden työntekijän, työnjohtajan, suunnittelijan ja toimitusjohtajan kanssa. Haastatteluissa käytiin läpi layoutissa ja koneiden käytössä havaitut ongelmat. Jokainen sai kertoa omia mielipiteitään mitä parannettavaa ja hyvää nykyisessä järjestelmässä on. Myös tulevaisuuden tarpeita kartoitettiin ja suunniteltiin, millainen konekanta olisi hyvä.

14 TUTKIMUKSEN TULOKSET

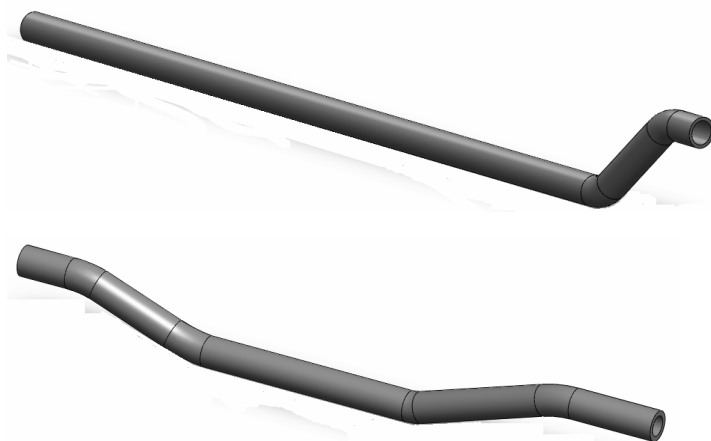
Tuloksissa selvitetään yrityksen tämänhetkistä tilannetta. Havaittuja asioita vertaillaan kirjallisuudesta saatuihin tietoihin ja teorioihin. Vierailut yrityksessä jakautuivat tiedon keruuseen, työnmittaukseen ja haastatteluihin. Työnmittauksen tuloksista selvitetään tuotannon mallintamiseen tarvittavia arvoja.

14.1 Tiedonkeruun tulokset

14.1.1 Kapasiteetti

Tuotantojärjestelmä toimii nykyisessä muodossaan soluna. Solussa valmistetaan tangoista ja putkista asiakastilausten mukaisia tuotteita. Tuotteiden toimitusaika vaihtelee viikosta kahteen viikkoon. Tuotanto vaihtelee yksittäistuotannosta pienerätuotantoon.

Solun keskimääräinen päivätuotanto on noin 80 kappaletta. Keskimääräistuotannon laskennassa ei ole huomioitu vaihtelua, koska sitä ei ole mitattu. Arvioiden mukaan kiireellisinä aikoina päästään jopa 300 kappaleen päivätuotantoon. Yksittäisten tilausten sarjakoko vaihtelee yhdestä kappaleesta 40 kappaleeseen, keskimääräinen sarjakoko on 12 kappaletta. Valmistettavista tuotteista 99 % on hydrauliiikaputkia, loput tuotteet ovat kaide- ja tukiputkia. Solussa valmistettavien putkien halkaisijat voivat vaihdella kahdeksasta millistä 35 milliin ja pituus 50 millistä aina 4500 milliin. Erilaisia tuotteita tehtiin kahdeksan kuukauden aikana noin 340 kappaletta ja tänä aikana valmistettiin 14 500 kappaletta putkia. Kuvassa 9 on tyypillisiä valmistettavia putkia.

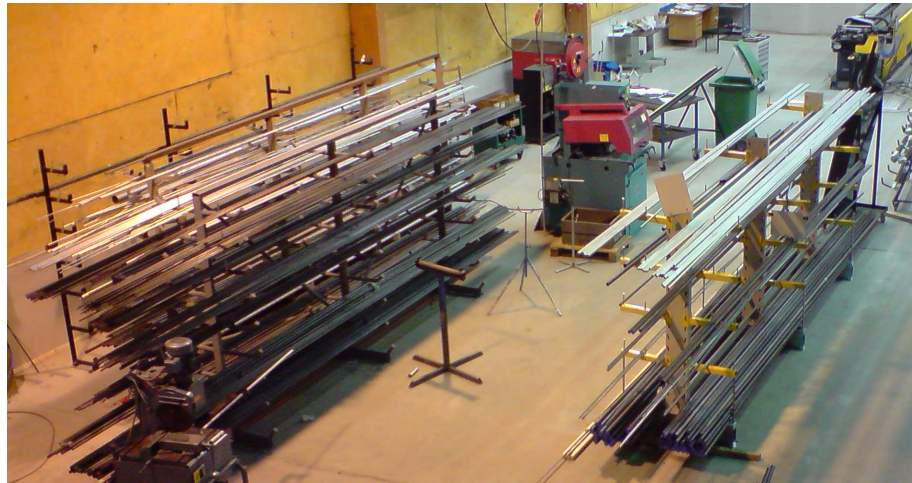


Kuva 9. Esimerkkejä valmistettavista hydrauliiikaputkista.

14.1.2 Järjestelmä

Varasto

Varastossa on neljä putkihyllyä, joissa jokaisessa on keskimäärin kahdeksan tasoa (kuva 10). Kaksi hyllyistä on yrityksen omia putkia varten, joita käytetään erikoisempiin tilauksiin ja omiin tarpeisiin. Kaksi muuta hyllyä ovat kaupintavarastokäytössä. Suurin osa so-lussa valmistettavista putkista otetaan kaupintavarastosta. Kaupintavaraston omistaa materiaalintoimittaja, joka huolehtii varaston täytöstä. Jokaiselle varastossa olevalle putkelle on määritetty hälytysraja, kun raja alittuu saa toimittaja siitä tiedon. Laskutus tapahtuu käytettyjen putkimetrien mukaan.



Kuva 10. Varasto.

Putkisaha

Putkisaha on puoliautomaattinen pyörösaha Kaltenbach KKS 400E (kuva 11). Sahassa on manuaalinen pituusvaste. Sahaus tapahtuu automaattisesti napin painalluksella. Sahan yläpuolinen vaste painaa aihion pöytään, terä nousee alapuolelta ja katkaisee kappaleen. Kappaleen katkaisunopeus on 10/20 m/min. Umpiaineet, putket ja profiilit pystytään katkaisemaan samalla nopeudella. (Vossi Group Oy)



Kuva 11. Kaltenbach KKS 400E.

Putkentaivutuskone

Putkentaivutuskoneena toimii cnc- ohjattu Macri 48 (kuva 12). Koneessa voi kerrallaan olla käytössä yksi työkalu, työkaluja on yhteensä kahdeksan. Kone on kolmeakselinen; jokaista akselin nopeutta pystytään säätämään erikseen. Akseleiden toistotarkkuudet ovat $\pm 0,1$ mm. Materiaalin maksimipituus on 3500 mm. Taivutuskonetta ohjataan kosketusnäytöllisestä tietokoneesta. Ohjelma tehdään 3D-ympäristöön, jolla pystytään simuloimaan kappaleen liikkeitä ja estämään törmäykset. Ohjelma laskee takaisinjoustopuutteen ja oikaistun pituuden ja korjaa ne työkaluasetuksiin. (Macri-italia)



Kuva 12. Macri 48.

Purseenpoisto

Purseenpoistokoneina ovat RSA Turnamat ja RSA Rasa-mono (kuva 13). Kummatkin koneet ovat manuaalikäyttöisiä harjakoneita. RSA Turnamat on tarkoitettu isojen suorien kappaleiden purseenpoistoon. RSA Rasa-monoa käytetään taivutettujen putkien purseenpoistoon. (Vossi Group Oy)



Kuva 13. Vasemmalla RSA Rasa-mono, oikealla RSA Turnamat.

Puhdistus

Puhdistus tapahtuu paineilman avulla. Puhdistuskone on omavalmisteinen, hyvin yksinkertainen laite (kuva 14). Laite koostuu jalkapolkimesta ja kartiosuuttimesta. Poljinta painettaessa tulee kartiosuuttimesta paineilmaa, joka puhalttaa putken päähän asennetun vaahtomuovi tulpan putken läpi.



Kuva 14. Puhdistuskone.

Pakkaus ja varastointi

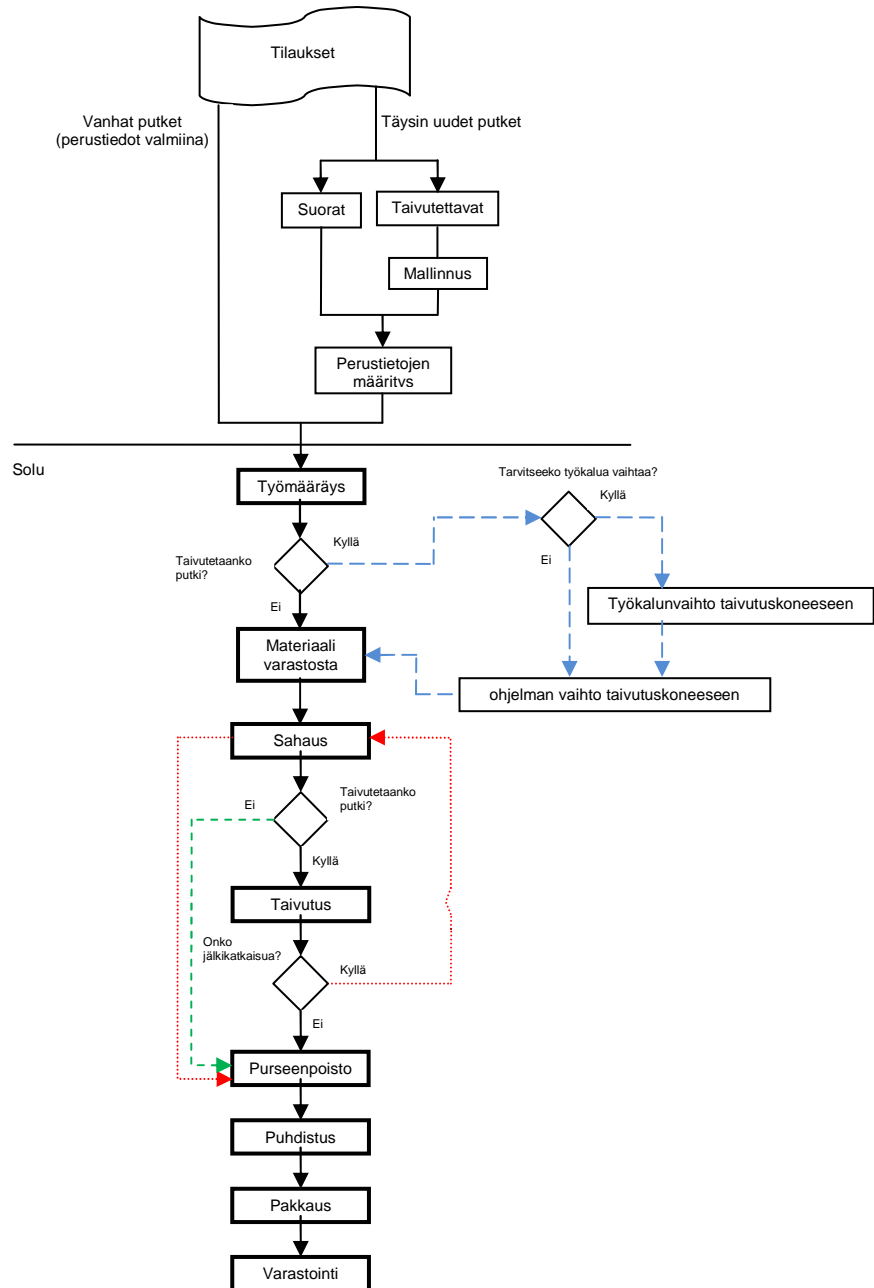
Pakkaus tapahtuu telineen tai pöydän päällä. Pakkauksen jälkeen putket siirretään hyllyyn (kuva 15), jossa ne odottavat, kunnes tilaus lähtee asiakkaan luokse.



Kuva 15. Valmiiden putkien varasto.

14.1.3 Työnkulku ja sen ongelmat

Solun työvaiheiden järjestys muuttuu valmistettavan putken mukaan. Suurin ongelma työnkulussa ilmenee silloin, kun kappaleita joudutaan kuljettamaan työnkulkua vastaan. Etenkin jos kaksi työntekijää tekee yhtä aikaa töitä, joutuu toinen yleensä odottamaan sahalle pääsyä. Myös laitteiden sijoittelu on epäselvä, koneiden sijainti ei opasta työnkulun mukaista järjestystä. Liitteessä 3 on alkuperäinen layout. Kaaviossa 3 on pääpiirteittäin työvaiheidenkulku.



Kaavio 3. Työvaiheidenkulku. Kaavio on jaettu solun sisäisiin ja ulkoisiin toimiin. Ulkoisissa toimissa tilaukset muutetaan työmääräyksiksi, joiden pohjalta tuotteet valmistetaan solussa kaavion mukaisessa järjestyksessä.

14.1.4 Työvaiheet ja niiden ongelmat

Tilaus

Tilauksesta selvitetään mitä putkille tehdään. Tilaus kertoo putken sarjakoon, materiaalin, halkaisijan, pituuden ja minkä muotoinen putki on. Tilauksen putket voidaan jakaa uusiin ja vanhoihin putkiin. Vanhoja putkia on tehty ennenkin, joten niistä on perustieto. Perustieto sisältää kustannuslaskelmat ja putkien yleiset tiedot ja mallinnukset. Nämä putket voidaan siirtää suoraan työmääräykseen. Jos putket ovat täysin uusia, jaotellaan ne suoriksi tai taivutettaviksi riippuen työkuvista. Taivutettavat putket mallinnetaan taivutuskoneen ohjelmaksi, jonka jälkeen niistä määritetään perustiedot. Suorista putkista määritetään perustieto heti tilauksen jälkeen.

Työmääräys

Työmääräyksessä on samat tiedot kuin tilauksessa. Näiden pohjalta valitaan oikea materiaali varastosta. Jos putki taivutetaan, valitaan taivutuskoneen ohjaukseen sopiva ohjelma ja vaihdetaan sopivat työkalut taivutuskoneeseen, jos ne eivät ole jo valmiina.

Työmääräyksestä ei näe selvästi missä järjestyksessä putkisarjat valmistetaan. Tämä voi johtaa tekemään putkisarjat väärässä järjestyksessä, myös aikaa menee hukkaan valikoidessa tehtäviä töitä. Työmääräyksestä joudutaan katsomaan materiaalitiedot varastosta otettaville putkille. Työmääräykset ja materiaalivarasto ovat kaukana toisistaan, joten välimatkan kulkeminen vie turhaan aikaa. Huomattavan paljon aikaa tuhlaantuu myös taivutuskoneen työkalunvaihdossa. Työkalunvaihto on pakollinen aina kun putken halkaisija muuttuu. Työkalut joudutaan vaihtamaan keskimäärin noin kolme – neljä kertaa päivässä.

Varasto, putkisaha ja taivutus

Varastosta valitaan sopivat putket, jotka siirretään putkisahalle. Ensimmäisenä asetetaan sahan pituusvaste. Jos putkea ei taivuteta, voidaan kaikki putket sahata samalla kertaa. Jos putki taivutetaan, sahataan tarkistusaihio, joka viedään taivutuskoneelle ja taivutetaan. Tämän jälkeen aihio mitataan. Jos aihio ei ole mitoissaan säädetään sahan vastetta. Kun saha on säädetty tehdään uusi tarkistusaihio. Kun aihio on mitoissaan, voidaan loput putket sahata ja taivuttaa.

Putken varastosta ottamisessa kuluu aikaa, koska putkimateriaalit eivät ole selvästi merkattuja. Pitkillä putkilla vasteenasetukseen menee huomattavan kauan aikaa, johtuen vaikeasti siirrettävästä vasteesta. Tarkistusaihion tekeminen ei ole sujuvaa, koska putkea joudutaan kuljettamaan edestakaisin sahan ja taivutuskoneen välillä.

Taivutuksen jälkeinen katkaisu

Putkiin joihin taivutus tulee lähelle putken päätä, joudutaan jättämään hieman ylimääräistä pituutta taivutukseen. Tämä tehdään siksi, että taivutuskone saa tarvittavan momenttivarren taivuttaakseen putken. Taivutuksen jälkeen putkesta sahataan ylimääräinen osa pois. Putkesta joudutaan sahaamaan toinen tai kummatkin päät, riippuen valmistuskuvista. Ensimmäisen sahauksen jälkeen putkiaihioon tehdään tarkistusmittaukset. Mittojen ollessa kuvien mukaiset, voidaan loput putket sahata.

Ongelmat syntyvät silloin kun työntekijät tarvitsevat käyttää sahaa yhtä aikaa työvaiheisiinsa. Tällöin toinen työntekijä joutuu odottamaan tai aloittamaan uuden sarjan tekemisen. Odottaminen ja uuden sarjan tekeminen lisää puolivalmiiden sarjojen määrää.

Purseenpoisto

Purseenpoistokoneella poistetaan putkien päistä kaikki sahauksessa tulleet rosot. Purseet joudutaan aina poistamaan putken molemmista päistä.

Pitkillä putkilla putken laittaminen koneeseen ja kääntäminen ympäri on työlästä, Pitkät putket ovat painavia ja kääntäminen vaatii paljon tilaa. Työympäristössä ei ole riittävästi tilaa, joten työntekijä joutuu tasapainottelemaan putkea, pitäen sitä keskeltä kiinni ja kääntäen samalla.

Puhdistus

Putket puhdistetaan liasta joka on tullut varastoinnin ja työvaiheiden aikana. Putken päähän laitetaan vaahtomuovi tulppa joka työnnetään paineilmalla ulos toisesta päästä.

Pitkillä putkilla putken laittaminen koneeseen on työlästä, koska työntekijä joutuu nostamaan putken puhdistuslaitteen suuttimen eteen, muiden puhdistukseen menevien putkien yli.

Pakkaus ja varastointi

Paukkauksessa putket kootaan yhteen ja teipataan toisiinsa. Samalla laitetaan tarra jossa kerrotaan mitkä putket ovat kyseessä. Putkenpää suojataan muovikelmulla, ettei lika pääse varastoinnin ja kuljetuksen aikana putkien sisälle.

Ongelmia saattaa syntyä varastoinnissa. Varastoon sijoitetaan valmiit putkisarjat päällekkäin ilman järjestystä. Tämä voi johtaa asiakkaalle lähetettävien putkien etsimiseen. Etsintä joudutaan tekemään, että saadaan varmuus onko putkisarjat varmasti tehty.

14.2 Työnmittauksen tulokset

Jokaisen putken vaiheaikojen kuudesta otannasta laskettiin keskiarvo ja keskihajonta. Keskihajonnaksi mittaustuloksissa saatiin noin kolme sekuntia. Tämän jälkeen saatu tulos yhdistettiin suunnittelutuotteiston jaottelun mukaisesti ja niistä otettiin keskiarvo ja keskihajonta (taulukko 1) Näin pystytään vertailemaan yksittäisen putken ja suunnittelutuotteiston putkien läpimenoaikaa toisiinsa.

Taulukko 1. Keskiarvojen ja keskihajonnan laskentaan käytetty taulukko. Värikoodit kertovat suunnittelu-
tuotteiston mukaisen jaottelun.

Kuvaus	Putki 1	Putki 2	putki 3	keskiarvo	Keskihajonta	Putki 4	Putki 5	Putki 6	keskiarvo	Keskihajonta	Putki 7	Putki 8	Putki 9	keskiarvo	Keskihajonta	Putki 10	Putki 11	keskiarvo	Keskihajonta	Putki 12	Putki 13	Putki 14	Putki 15	keskiarvo	keskihajonta	
Työkalunvaihto (ensim.)		802,0		802,0			840,0		840,0		687,0	768,0		727,5	57,3						803,3					
Ohjelmointi (ensim.)		22,0		22,0				22,0	22,0		32,0		10,2	21,1	15,4											
Sahaukseen (ensim.)		10,6	13,4	12,0	2,0						12,5	7,3	14,0	11,3	3,5		31,9	31,9	0,0			43,0	12,5	28,5	20,5	8,0
Vasteen asetus (ensim.)	15,0	31,0	10,0	20,5	14,8	10,0	15,0	15,0	13,3	2,9	19,0	14,0	18,7	17,2	2,8			13,1	13,1	0,0		35,0	60,0	56,0	58,0	2,0
Sahauksessa (ensim.)	21,3	17,2	26,2	21,7	6,4	13,9	15,0	15,0	14,6	0,6	13,3	22,8	20,1	18,7	4,9	19,2	5,3	12,3	7,0	18,5	17,0	37,0	63,8	50,4	13,4	
Taivutuskoneelle (ensim.)	10,0	8,5	8,7	8,6	0,1	8,0	9,3	8,0	8,4	0,8		9,3	6,8	8,1	1,8											
Taivutus (ensim.)	19,9	27,2	59,0	43,1	22,5	11,1	8,5	29,2	16,3	11,3	45,2	47,1	46,1	46,1	1,0											
Mittaus (ensim.)	10,5	19,0	20,0	19,5	0,7	17,0	20,2		18,6	2,3	6,0	12,5	19,0	12,5	6,5											
Sahaukseen (sarja)		8,5	7,7	8,1	0,6							7,3	5,9	6,6	1,0											
Sahauksessa (sarja)	21,3	17,2	26,2	21,7	6,4	13,9	15,0		14,5	0,8	13,3	22,8	20,1	18,7	4,9	19,2	15,3	17,3	2,0		17,0					
Taivutuskoneelle (sarja)		9,0	8,7	8,9	0,2	8,0	9,3		8,7	0,9		9,3	6,8	8,1	1,8											
CNC-taivutus (sarja)	19,9	27,2	59,0	43,1	22,5	11,1	8,5		9,8	1,8	45,2	47,1	46,1	46,1	1,0											
Kasin taivutukseen						15,0			15,0																	
Kasin taivutus (ensim.)						380,0			380,0																	
Kasin taivutus (sarja)						60,0			60,0																	
Sahaukseen (sarja)		8,5	7,7	8,1	0,6	15,0	9,3	8,0	10,8	3,7		10,5	5,9	8,2	3,3											
Vasteen asetus (ensim.)		31,0	10,0	20,5	14,8	47,0	10,2	22,2	26,5	18,8	35,0	24,3	7,7	22,3	13,8											
Sahaus (ensim.)		21,1	19,2	20,2	1,3	17,8	11,3	9,1	12,7	4,5		32,8	25,8	29,3	4,9											
Mittaus (ensim.)		2,3	10,5	6,4	5,8	17,0	20,2	22,0	19,7	2,5		16,4	12,0	14,2	3,1											
Sahaus (sarja)		21,1	19,2	20,2	1,3	17,8	11,3		14,6	4,6	15,6	32,8	25,8	24,7	8,6											
Vasteen asetus (ensim.)		10,0	10,0			37,8	12,6	26,0	25,5	12,6																
Sahaus (ensim.)		19,3	19,3			22,6	15,0	9,3	15,6	6,7	20,9			20,9												
Mittaus (ensim.)		10,5	10,5			17,0	20,2	47,0	28,1	16,5	14,4			14,4												
Sahaus (sarja)		19,2	19,2			22,6	15,0		18,8	5,4	20,9			20,9												
Harjaukseen (sarja)		7,5	20,0	13,8	8,8	10,9	8,0		9,5	2,1		19,5	14,0	16,8	3,9											
Harjauksen (sarja)	5,5	14,2	20,8	17,5	4,7	5,7	18,7	12,3	12,2	6,5	11,5	17,9	16,6	15,3	3,4	8,8	5,1	7,0	1,9	6	6,4	11,3	22,6	17,0	5,7	
Tulpan ampuminen (sarja)	11,0	12,1	18,7	15,4	4,7	2,5	2,2	13,6	6,1	6,5	9,9	7,4	7,4	8,2	1,4	9,6	8,2	8,9	0,7	15	8,2	15,8	26,5	21,2	5,4	
Pakkkaus (sarja)	16,0	3,9	7,4	5,7	2,5	0,3	0,9	40,0	13,7	22,7	30,5	6,8	9,6	15,6	13,0	7,0	9,0	8,0	1,0	76	37,2	18,0	90,4	54,2	36,2	

1 katkaisua, Halkaisija alle 16mm, pituus alle 1m

2 katkaisua, halkaisija alle 16mm, pituus yli 1m

2 katkaisua, halkaisija alle 16mm, pituus alle 1m

2 katkaisua, halkaisija yli 16mm, pituus yli 1m

suorat, halkaisija alle 16mm, pituus alle 1m

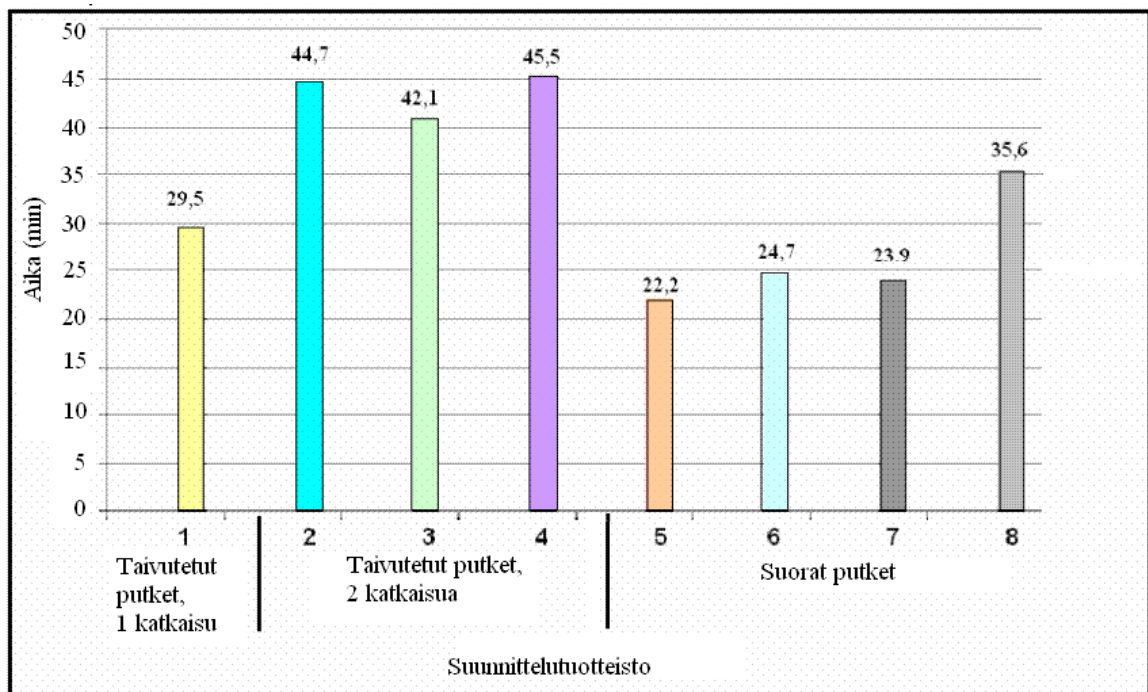
suorat, halkaisija alle 16mm, pituus yli 1m

suorat, halkaisija yli 16mm, pituus alle 1m

suorat, halkaisija yli 16mm, pituus yli 1m

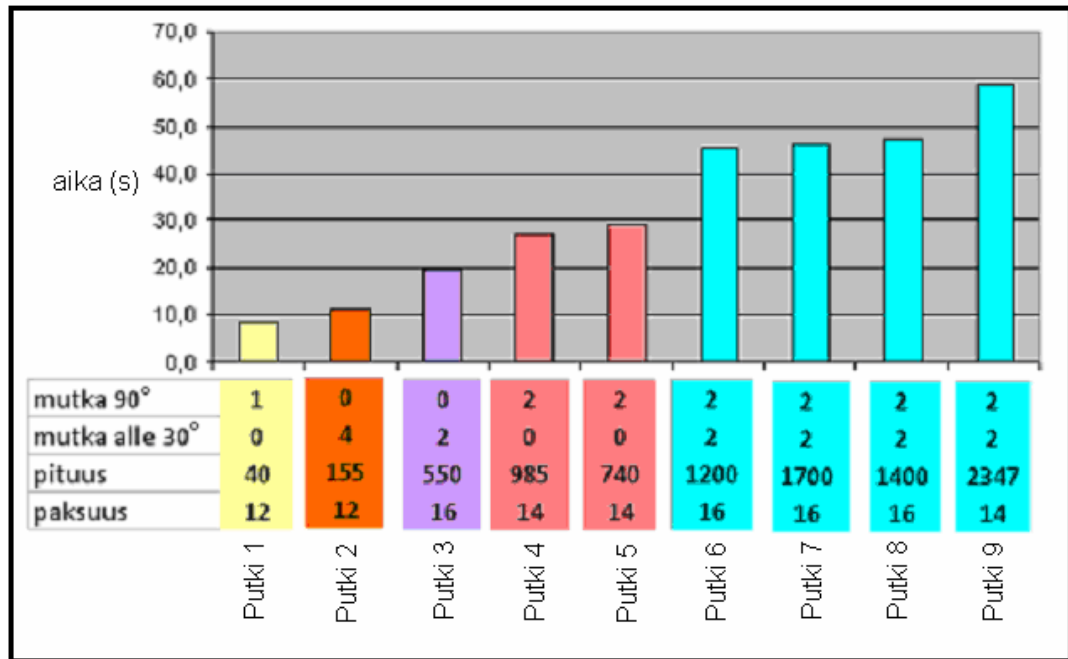
Kuvassa 16 vertaillaan suunnittelutuotteiston kesken keskimääräisen sarjakoon (12kpl) valmistukseen kuluvaa aikaa. Selviä eroja on huomattavissa suunnittelutuotteistossa. Putket joiden kummatkin päät katkaistaan taivutuksen jälkeen, aikaa menee keskimäärin 33 % kauemmin, kuin putkissa joissa on vain yhden pään katkaisu. Putket joiden kummatkin päät katkaistaan taivutuksen jälkeen, aikaa menee keskimäärin 40 % kauemmin, kuin suorilla putkilla. Kokonaisuudessaan taivutettavien putkien teossa menee 34 % kauemmin kuin suorien putkien teossa.

Suurimmat erot suunnittelutuotteiston läpimenoajoista johtuvat työvaiheiden määrästä. On selvää että työvaiheiden lisääntyessä myös aikaa menee kauemmin. On kuitenkin huomiotava mitkä muut seikat vaikuttavat läpimenoaikaan.



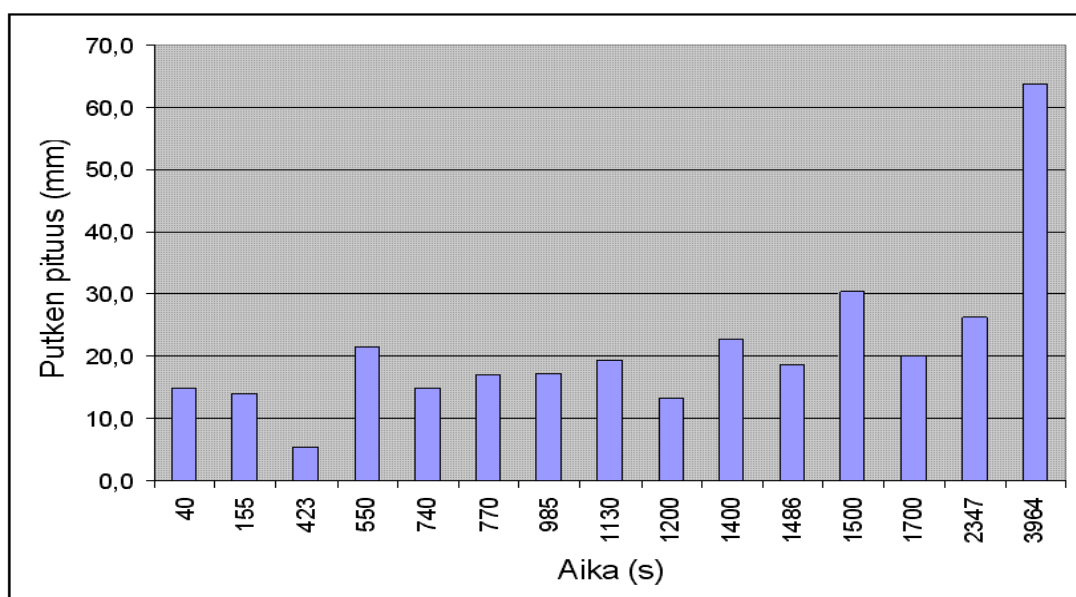
Kuva 16. Suunnittelutuotteiston vertailu.

Putket joiden työvaiheeseen kuuluu taivuttaminen, suurimmat erot läpimenoajoissa johtuvat taivutuskulmasta ja taivutuksien määrästä (kuva 17). Mitä enemmän jyrkkiä taivutuksia on, sitä enemmän menee aikaa. Loivan taivutuksen teko kestää noin puolet vähemmän aikaa kuin jyrkän.



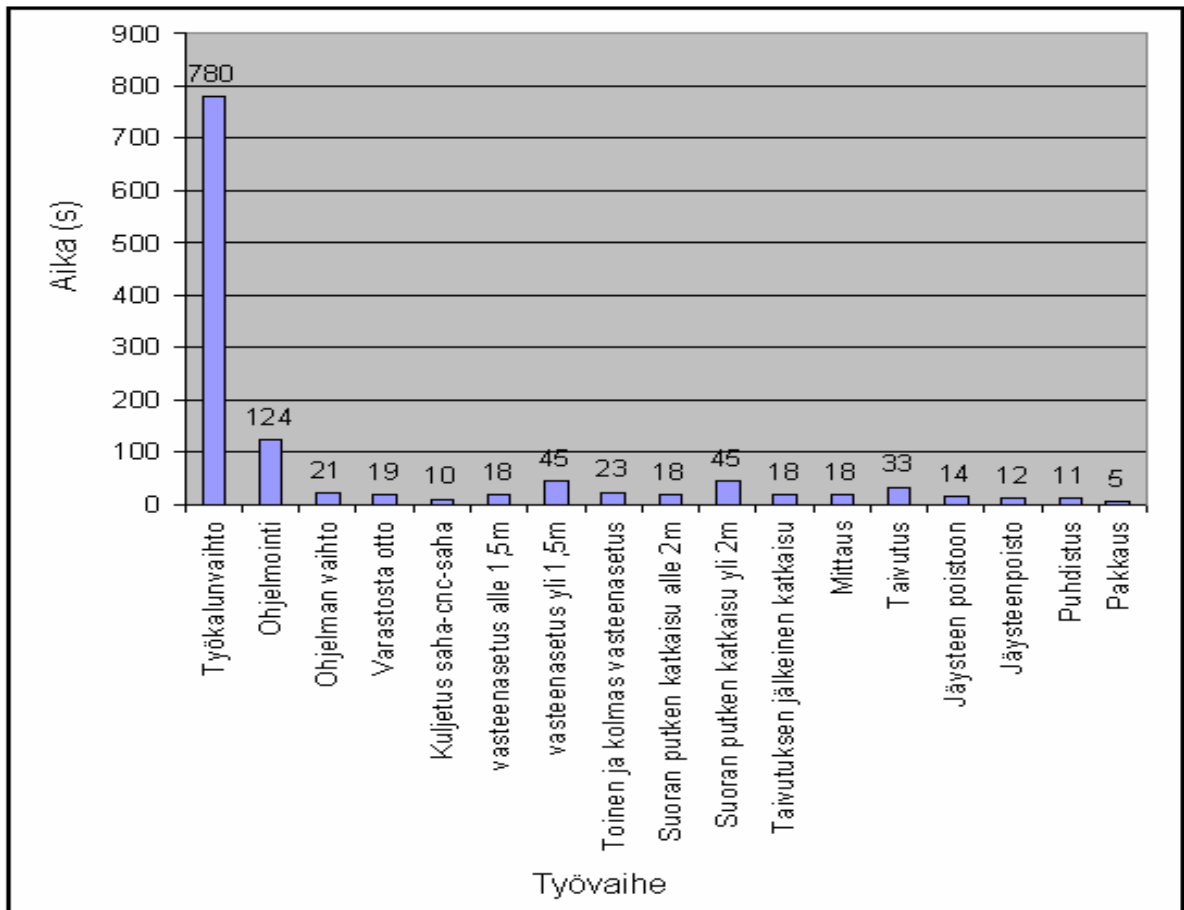
Kuva 17. Taivutuskoneen taivutusnopeuden vertailu. Keskimääräisesti taivutukseen menee aikaa 33 sekuntia. Taivutuskulman suuruus ja taivutuksien määrä vaikuttavat taivutusaikaan eniten.

Pituus vaikuttaa putken käsittelyyn, näin ollen se kasvattaa läpimenoaikaa. Pituudesta johtuva läpimenoaikojen kasvu koostuu sahauksesta, jäysteenpoistosta ja puhdistuksesta. Kuva 18 verrataan sahausajan muutosta pituuden kasvuun. Kuvaajasta tulee huomioida että putken laittaminen ja pois ottaminen sahasta on mukana mittauksessa. Lyhyillä putkilla sahaus aika pysyy lähes vakiona, kun taas pitkillä putkilla sahaus aika kasvaa huomattavasti.



Kuva 18. Sahausajan muutos verrattuna pituuden kasvuun.

Yhden putken valmistuksen läpimenoaika jakautuu kuvan 19 mukaisesti eri työvaiheisiin. Huomattavasti eniten aikaa käytetään taivutuskoneen työkalunvaihtoon. Myös ohjelmointiin käytetään aikaa hieman muita työvaiheita enemmän. Muut työvaiheet ovat suhteellisen tasaisia. Kuvaajaan on määritetty, kuinka putken pituus vaikuttaa vasteenasetus- ja katkaisuaikaan. Pitkän putken vaiheaika kasvaa sahauksen ja vasteenasetuksen osalta huomattavasti verrattuna lyhyen putken vaiheaikaan.



Kuva 19. Läpimenoajan jakautuminen työvaiheisiin yhden putken valmistuksessa. Yhden putken valmistamiseen ilman työkalunvaihtoa menee noin 5 minuuttia aikaa. Työkalunvaihdon kanssa aikaa menee noin 20 minuuttia.

Suunnittelutuotteistosta (s.48, kuva 8), työvaiheajoista (s.52, taulukko 1) ja vaiheajojen analyyseistä (s.53- 55) koottiin yhden putken valmistukseen kuluvat työvaiheajat. Taivutettavat ja suorat putket jaoteltiin painoarvojen mukaisesti. Näin saatiin painotettua keskimääräisiä vaiheajoja. Tiedolla pystytään mallintamaan tuotantojärjestelmän eri variaatioiden eroja (taulukko 2).

Taulukko 2. Keskimääräinen vaiheajojen määrittäminen.

	Taivutettavat (s)	Suorat (s)	Keskimäärin (s)
Työkalunvaihto (ensim.)	872,8	872,8	872,8
Ohjelmointi (ensim.)	23,5	23,5	23,5
Sahaukseen (ensim.)	15,7	15,7	15,7
Vasteen asetus (ensim.)	20,1	20,1	20,1
Sahauksessa (ensim.)	20,1	20,1	20,1
Taivutuskoneelle (ensim.)	7,8	0,0	6,5
CNC-taivutus (ensim.)	25,7	0,0	21,5
Mittaus (ensim.)	16,8	16,8	16,8
Sahaukseen (sarja)	13,4	13,4	13,4
Sahauksessa (sarja)	20,1	20,1	20,1
Taivutuskoneelle (sarja)	7,8	0,0	6,5
CNC-taivutus (sarja)	21,3	0,0	17,7
Sahaukseen (sarja)	7,8	0,0	6,5
Vasteen asetus (ensim.)	25,7	0,0	21,5
Sahaus (ensim.)	23,5	0,0	19,6
Mittaus (ensim.)	16,8	0,0	14,0
Sahaus (sarja)	23,5	0,0	19,6
Vasteen asetus (ensim.)	16,8	0,0	14,0
Sahaus (ensim.)	20,1	0,0	16,8
Mittaus (ensim.)	19,0	0,0	15,9
Sahaus (sarja)	20,1	0,0	16,8
Harjaukseen (sarja)	15,7	15,7	15,7
Harjaus (sarja)	14,5	14,5	14,5
Tulpan ampuminen (sarja)	11,2	11,2	11,2
Pakkaus (sarja)	5,6	5,6	5,6

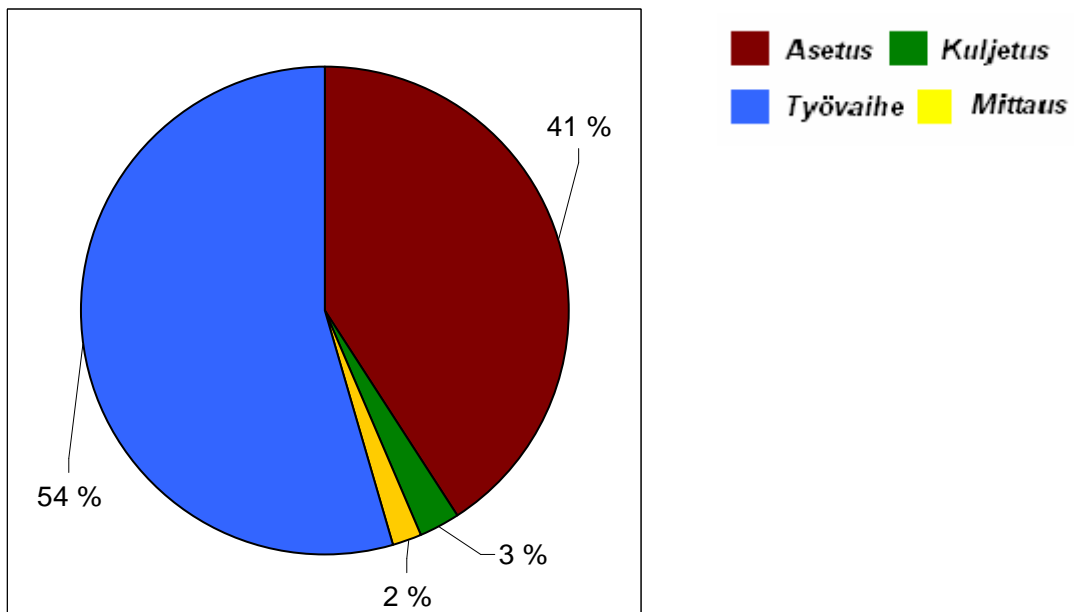
Vaiheajat määriteltiin vertaamalla suunnittelutuotteiston putkia niiden vuosivolyymiin. Putket joita oli tehty eniten, saivat suuremman painoarvon vaiheajoilleen, vähemmän tehdyt putket saivat pienemmän painoarvon. Suoria putkia tehdään vähemmällä työvaiheilla kuin taivutettavia putkia, joten niiden läpimenoaikoja ei voida suoraan yhdistää. Suoria putkia tehdään keskimäärin 20 % ja taivutettavia putkia tehdään keskimäärin 80 % tuotannosta. Työvaiheiden määrän erosta määritettiin suhdeluku, jonka avulla suorien ja taivutettavien putkien vaiheajat pystyttiin yhdistämään. Suunnittelutuotteiston työvaiheajoista, vuosivolyymistä, suorien ja taivutettavien suhdeluvusta ja analyysistä määritettiin keskimääräiset vaiheajat.

Työajan jakautuminen

Työajan jaottelun avulla pystytään selvittämään, kuinka työaika jakautuu läpäisyajassa. Työaika jaoteltiin työnkulkukaavion (liite 2) mukaisesti. Näin saadaan helposti analysoitavaa tietoa. Työaika jaoteltiin seuraavasti:

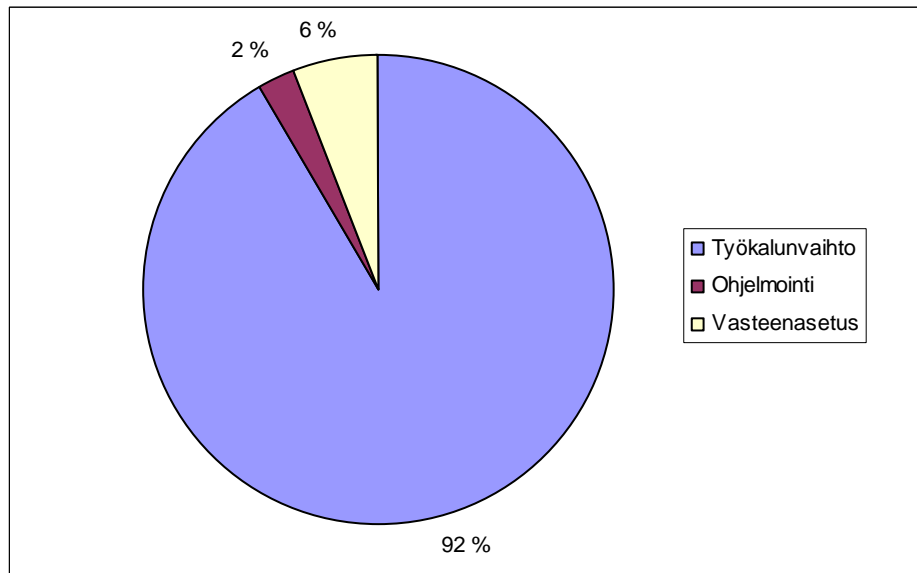
- työvaihe
- kuljetus
- varastointi tai odotus
- mittaus.

Kuvassa 20 kuvataan läpäisyaikojen prosenttiosuutta kokonaisläpäisy aikaan. Vaihe aikojen määrittämisessä on käytetty mittaustuloksista saatua tietoa. Kuvaajan arvot ovat keskimääräisen sarjakoon (12 kpl) läpäisy aikoja. Kokonaisläpäisy aika tällä sarjakoolla on noin 39 minuuttia. Kuvaajan perusteella kuljetus vie 3 prosenttia ja mittaus 2 prosenttia kokonais ajasta. Eniten aikaa vievät työvaihe 54 prosentilla ja asetusajat 41 prosentilla. Sivulla 58 on jaoteltu työvaihe ja asetusajat osiin.



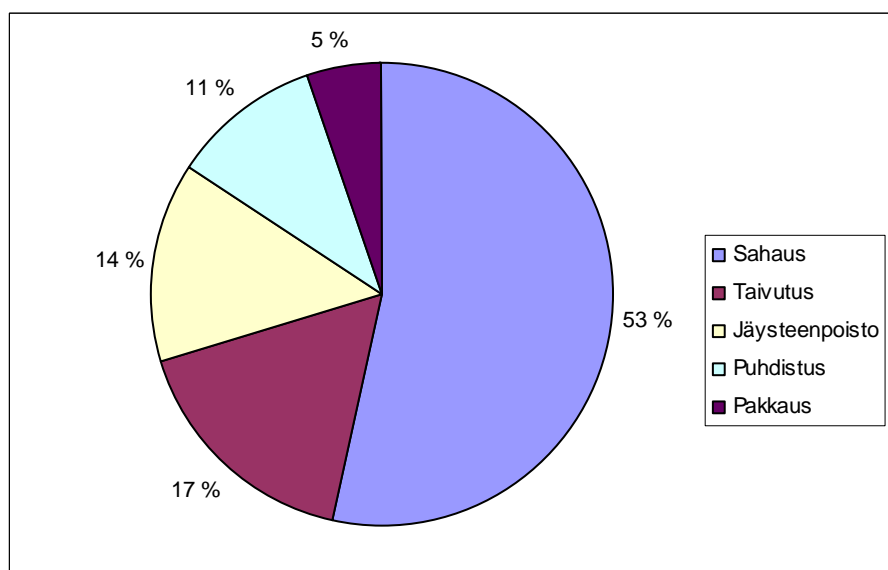
Kuva 20. Läpäisy aikojen osuus kokonaisläpäisy ajasta.

Asetusajat muodostuvat työkalunvaihdosta, ohjelmoinnista ja vasteenasetuksista. Kuvassa 21 nähdään, kuinka asetusaikat jakautuvat. Työkalunvaihto vie merkittävimmän osan asetusaikasta. Ohjelmointi ja vasteenasetukset ovat hyvin pieni osa kokonaisuudesta. On kuitenkin huomioitava, ettei työkalua tarvitse vaihtaa jokaisella sarjalla, jolloin se jää kokonaan pois asetusaikasta.



Kuva 21. Asetusaikojen jakautuminen kokonaisläpäisyajasta.

Työvaiheet muodostuvat sahauksesta, taivutuksesta, jäysteenpoistosta, puhdistuksesta ja pakkauksesta. Kuvaajassa 22 nähdään kuinka työvaiheet jakautuvat. Sahaus vie yli puolet työvaiheiden ajoista. Sahausta joudutaankin käyttämään moneen kertaan prosessin aikana.



Kuva 22. Työvaiheiden jakautuminen kokonaisläpäisyajasta.

14.3 Haastattelututkimuksen tulokset

Haastattelussa keskeisimmäksi ongelmaksi nousi sahan toiminta. Sahan sahausnopeus on turhan hidas, joten nopeutta on aiottu nostaa välityksiä vaihtamalla. Sahalla olisi hyvä saada sahattua useampi putki kerralla, mikä nopeuttaisi sahan käyttöä. Sahan käynnistinpainike on huonolla kohdalla, koska siihen joudutaan kurkottamaan teränsuojan yli jokaisen sahauksen alussa. Myös teränsuoja on raskaskäyttöinen. Sahan ergonomiaa haluttaisiin parantaa asentamalla poljinkäynnistin sekä poistamalla suoja sahan edestä. Sahan mittapöytä on purseenpoistokoneen edessä, mikä vaikeuttaa pitkien putkien työstöä.

Taivutuskone ei toimi täydellä nopeudella putkien taivutuksessa. Taivutuskoneen taivutusnopeutta voitaisiin kasvattaa suurella osalla putkista. Arvioiden mukaan nopeutta pystytään kasvattamaan noin 25 prosenttia. Nopeutta ei ole nostettu, koska tarvetta ei ole ollut.

Varastoon haluttaisiin saada lavajärjestelmä, joka helpottaisi asiakkaalle lähtevien tuotteiden tarkastuksia. Myös materiaalivarastoon haluttaisiin järkevämpi ratkaisu, se helpottaisi materiaalin hakemista.

15 TUOTANNON TEHOSTAMINEN

Tuotannon tehostamisen jakautuu kahteen osa-alueeseen, yksinkertaiseen tuotannon kehittämiseen ja eri tuotantomallien vertailuun. Yksinkertaisessa tuotannon kehityksessä selvitetään, kuinka kohtuullisen pienillä ratkaisuilla pystytään nopeuttamaan läpimenoaikaa ja parantamaan järjestelmän toimivuutta. Tuotantomallien vertailussa selvitetään ihmisten ja erilaisten koneiden vaikutusta läpimenoaikaan.

15.1 Kuormitussuhde

Ensimmäisenä tulee selvittää nykyisen tuotantojärjestelmän kuormitussuhde. Kuormitussuhteen määrittäminen on tärkeää, että tiedetään kuinka lähellä ollaan tuotannon maksimikapasiteettia. Lähtötietona käytetään tuotantomäärää kahdeksan kuukauden ajalta. Tänä aikana työpäiviä on ollut 182 kappaletta, joten tehokasta työaikaa on ollut 1272 tuntia.

Putkia tehtiin kahdeksan kuukauden aikana 14 529 kappaletta, joten keskimääräisesti putkia tehtiin noin 80 kappaletta päivässä. Keskimääräisen sarjakoon ollessa 12 kappaletta päivässä sarjoja täytyy tehdä noin 6,6 erää. Taivutuskoneeseen vaihdetaan arvion mukaan työkaluja neljä kertaa työpäivässä ja yhden sarjan tekemiseen käytetään noin 24 minuuttia. Näillä tiedoilla saadaan järjestelmän päivittäiseksi kuormitusajaksi 3,5 tuntia. Tästä voidaan laskea kuormitussuhde sivulla 19 olevaa kaavaa yksi käyttäen.

$$\text{Kuormitussuhde} = \frac{3,5 \times 100 \%}{7} = 50 \%$$

Kuormitussuhde on 50 %, mikä on yllättävän vähän. Tämän perusteella tuotantoa pystytään kasvattamaan reilusti. Tulee kuitenkin huomioda että kuormitussuhteen laskennassa on käytetty vuoden 2009 taantuman aikaisia tilastoja. Normaalina aikana kuormitussuhde tulee olemaan korkeampi.

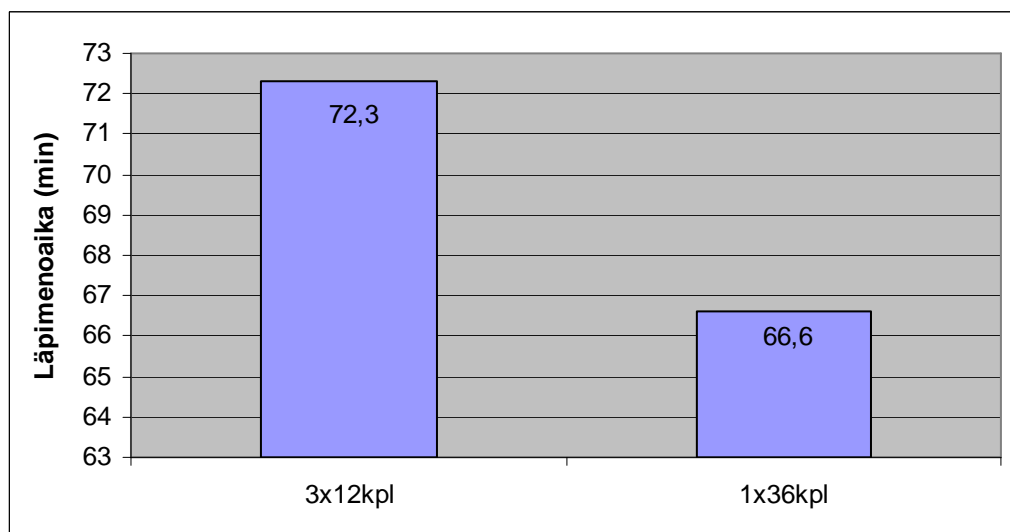
Arvion mukaan nykyisessä tuotannossa on kiireellisenä aikana ja isoilla sarjoilla pystytty noin 300 kappaleen päivätuotantoon, mikä on lähes kaksinkertainen tuotantomäärä maksimikapasiteetilla toimimiseen nähden.

$$\text{Tuotantomäärän suhde} = \frac{300 \text{ kpl/pv}}{80 \text{ kpl/pv} * 2} = 1,88$$

Tästä voidaan päätellä, ettei taantuman aikana ole tarvinnut tehdä viimeistä puristusta tuotannossa. Tuotanto voi kasvaa vielä reilusti ennen kuin järjestelmän kapasiteetti käy liian pieneksi. Vaikka tulevaisuudessa ei tarvitsisi työskennellä täydellä kapasiteetilla, täytyy muistaa, että päivittäinen kuormitus voi vaihdella huomattavasti. Taantuman jälkeen solun päivittäinen kuormitus oletettavasti kasvaa, näin ollen solussa ei olisi enää varaa kuormituksen vaihtelulle. Tämä ei ole pitkällä tähtäimellä hyvä ratkaisu työntekijöille ja asiakkaille. Jotta kuormitusta pystytään hallitsemaan, täytyy kapasiteettia saada lisää.

15.2 Sarjakoon vaikutus läpäisy aikaan

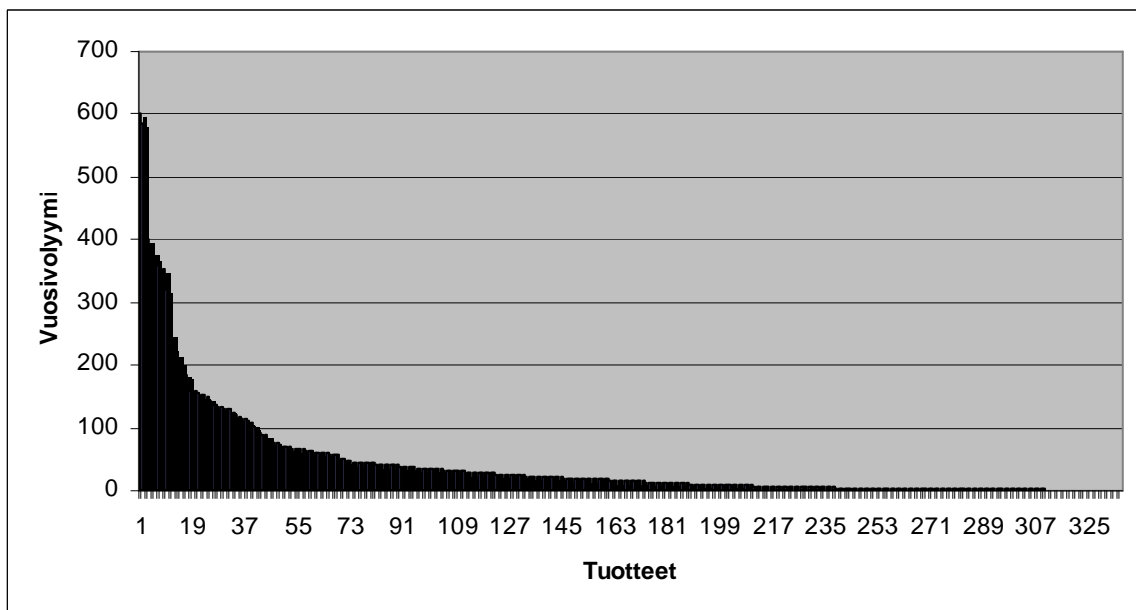
Kuvassa 23 verrataan mallintamalla, kuinka sarjakoko vaikuttaa läpäisy aikaan. Työkalunvaihtoa ei ole otettu huomioon. Vertailu on tehty keskimääräisen sarjakoon ja odotetun sarjakoon kesken. Kolmen 12 kappaleen sarjan tekoon aikaa kuluu 72,3 minuuttia. Kun putkia tehdään yhdellä sarjalla 36 kappaletta, aikaa kuluu 66,6 minuuttia. Ajansäästö sarjakoon suurentamisella on noin 8 %. Ero tulee suoraan tarkistusmittausten, vasteasetuksien ja kuljetuksien vähentymisestä.



Kuva 23. Sarjakoon vaikutus läpäisy aikaan.

15.3 Layout

Nykyisen tuotantojärjestelmän layout toimii solu tyyppisesti. Näille valmistusmäärille solu layout sopiikin parhaiten. Vaikkakin tulevaisuudessa tuotanto oletetusti kasvaa, ei ole mitään perusteita vaihtaa joustamattomaan ja heikosti muunneltavaan järjestelmään. Nykyisen solun vaihtelevan tuotannon vuoksi on hyvä miettiä ratkaisua, kuinka yksittäiskappaleet ja sarjatuotanto saadaan joustavasti yhteen. Kuvassa 24 on nykyisen tuotannon tuotemäärä-piirros.



Kuva 24. Nykyisen solun tuotannon tuote-määrä-piirros.

Kuvaajan perusteella tuotteet pitäisi jakaa kahteen layoutiin. Toisessa layoutissa tehtäisiin sarjatuotanto ja toisessa yksittäiskappaleet.

Kuvaaja ei kuitenkaan anna kokonaiskuvaa tuotannonjaosta. On hyvä huomioida tulevaisuuden tuotantomäärät ja onko kannattavaa tehdä toista layoutia putkille joiden tuotantokustannukset ovat suuret, johtuen pienestä sarjakoosta.

Tulevaisuudessa sarjakokoa pyritään kolminkertaistamaan. Koska sarjakokoa kasvatetaan, ei yksittäisten kappaleiden valmistusta tulla ainakaan lisäämään. Yksittäisten kappaleiden poistaminen tuotannosta ratkaisisi layout ongelman. Yksittäisten kappaleiden valmistaminen ei ole kovin kannattavaa, mutta nykyisen tuotannon periaate on tarjota asiakkaille putkia sarjakoosta riippumatta.

Kaksois- layout tulee kannattavaksi silloin kun solussa valmistetaan suursarjoja joiden tuotantoon käytetään solun koko kapasiteetti. Silloin ei ole enää kannattavaa valmistaa yksittäisiä kappaleita, koska niiden valmistukseen menevällä ajalla pystytään tekemään moninkertainen määrä sarjatuotantoa. Tämä layout muoto käy kuitenkin vain silloin, kun on halu tarjota myös yksittäiskappaleita.

Tulevaisuuden tuotannon näkymiin nähden on joustava yksittäissolu paras ratkaisu. Yksittäisten tuotteiden valmistuksen väheneminen ei anna kannattavuutta kaksoissolulle. Jos yksittäistuotantoa ei tulevaisuudessa valmisteta, ei ole turhaan kehitelty kaksoissolua. Jos sarjatuotanto määrät kasvavat tulevaisuudessa niin paljon, ettei yksittäiskappaleita pystytä valmistamaan samassa solussa, voidaan halutessa rakentaa pienille sarjoille oma solu. Suunniteltavan yhden solun järjestelmä täytyy kuitenkin olla sellainen, jota pystytään kohtuullisen helposti muokkaamaan tuotannon mukaan.

15.4 Tilauksien selkeyttäminen

Vähentämällä solun sisäistä toimintaa jää itse tuotteiden tekemiseen enemmän aikaa. Tilauksien selkeyttäminen vaatii nykyistä aikaisempaa tietoa tulevista tilauksista, niin että työnsuunnittelu pystytään tekemään.

Tilaukset voidaan järjestää yleisesti nähtävänä olevaan tauluun. Tauluun merkattaisiin viikon työt. Taulusta näkisi suoraan mitä on tehty ja mitä seuraavaksi tehdään. Tämä nopeuttaa töiden aloitusta, sekä etenkin lähtevien tilausten tarkistamista. Tauluun pystytettäisiin jakamaan myös työt putken halkaisijan mukaiseen järjestykseen. Näin pystytään vähentämään taivutuskoneen työkalunvaihdon tarvetta. Lähtevien tilausten varastointi voidaan jakaa omiin osiin, siten että jokaiselle asiakkaalle on oma laatikkonsa mihin tuotteet lajitellaan.

Kuvassa 25 ylemmissä diagrammeissa on verrattu tavoite sarjakoon (36kpl) työkalunvaihdon merkitystä taivutettavien putkien valmistusaikaan. Ilman työkalunvaihtoa sarja pystytään tekemään noin 14 % nopeammin, aikaa säätyy 15 minuuttia. Kuvan 25 alemmassa diagrammissa on vertailtu yhden kappaleen valmistusaikaa työkalunvaihdon kanssa. Ku-

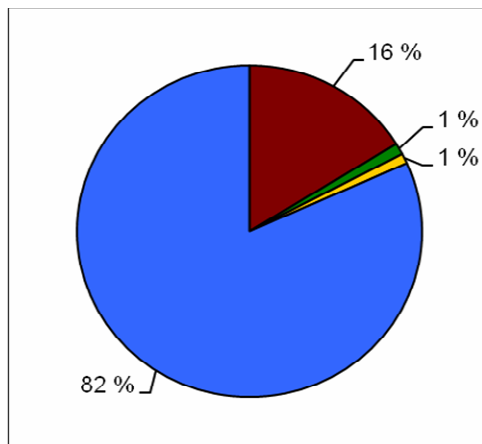
vaajasta näkee, ettei yksittäiskappaleita ole järkevää tehdä, koska työkalunvaihto vie valmistusajasta kolmanneksen. Jos työkalunvaihtoa ei huomioida 36 kappaleen sarjassa, aikaa kuluu yhden kappaleen valmistamiseen noin 2,5 kertaa vähemmän kuin pelkän yksittäisen kappaleen valmistamiseen. Työkalunvaihdon kanssa ero on 8,5-kertainen. Edellä mainitut seikat antavat perustan kasvattaa sarjakokoa tai tehdä pienempiä sarjoja varastoon.

■ Asetus ■ Kuljetus ■ Työvaihe ■ Mittaus

Kappalemäärä= 36

Aika= 82 min

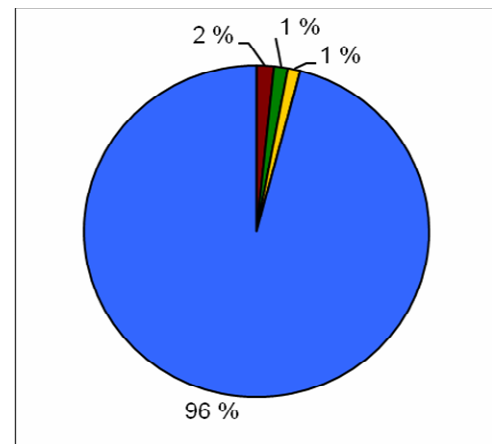
Työkalunvaihto = Kyllä



Kappalemäärä= 36

Aika= 67 min

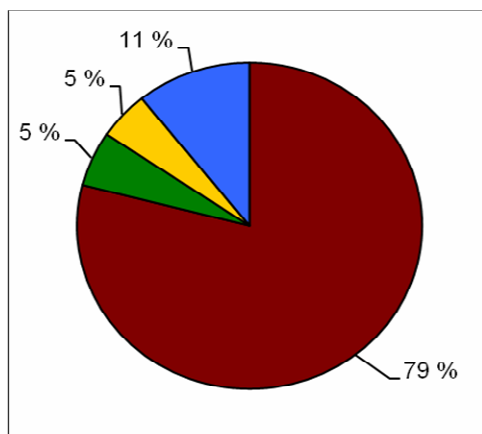
Työkalunvaihto = Ei



Kappalemäärä= 1

Aika= 20 min

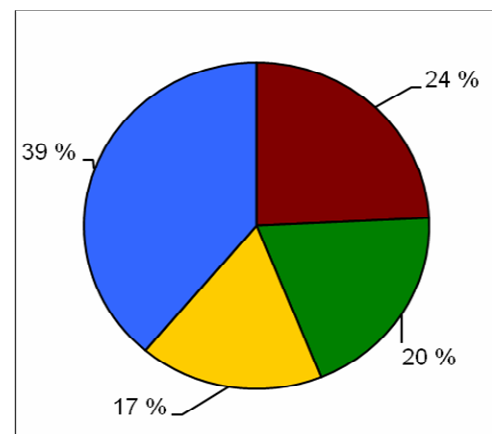
Työkalunvaihto= Kyllä



Kappalemäärä= 1

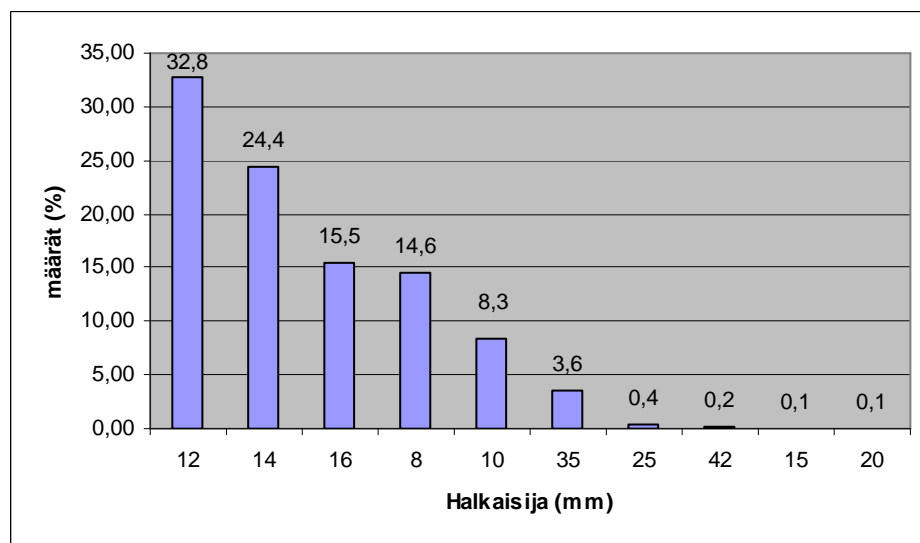
Aika= 5 min

Työkalunvaihto= Ei



Kuva 25. Työkalunvaihdon vaikutus läpäisy aikaan.

Valmistuksen jakaminen putken halkaisijan mukaan voidaan tehdä käyttäen edellisvuoden volyymitietoja. Kuvassa 26 on kerätty kahdeksan kuukauden ajalta putken valmistusmäärät halkaisijan mukaan. Kuvaajan perusteella taivutettavat putket voidaan jakaa niin, että eniten menekkiä oleville putkille annetaan valmistukseen enemmän aikaa. Esimerkiksi maanantaina ja tiistaina tehtäisiin 12mm ja 14mm putket, keskiviikkona, torstaina ja perjantaina loput. Näin työkalunvaihtoja ei tarvitse tehdä kuin yhden kerran halkaisijalleen. Tällainen järjestely vaatii kuitenkin viikon tilaukset ja aikaa niiden järjestelyyn. Nykyisessä solussa työkaluja vaihdetaan noin neljä kertaa päivässä. Viikossa työkaluja vaihdetaan noin 20 kertaa. Työnjärjestelyllä pystytään puolittamaan työkalunvaihdon määrä.



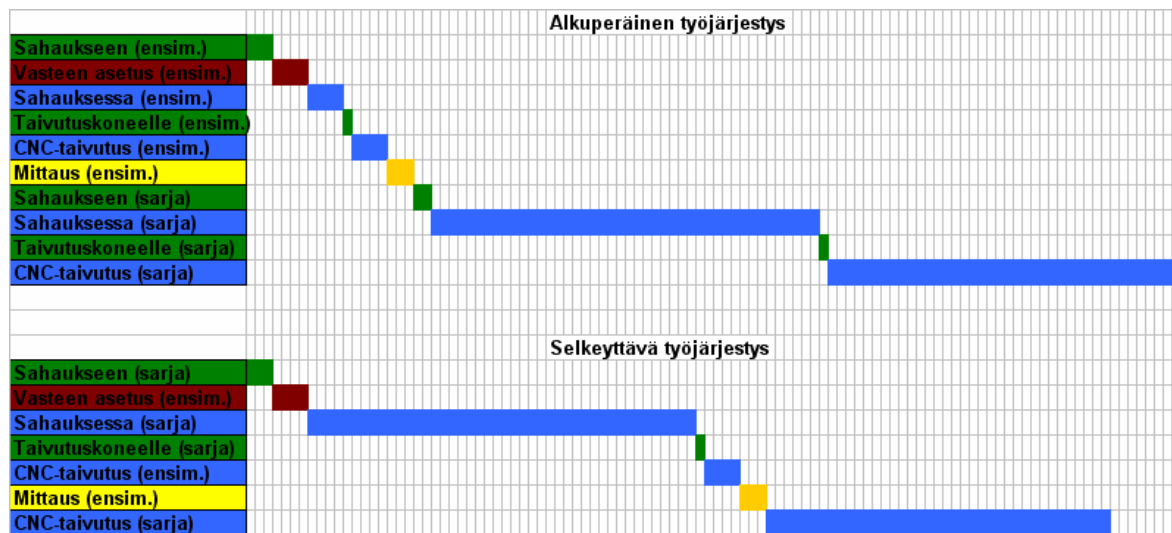
Kuva 26. putken valmistusmäärät halkaisijan mukaan.

Lähteiden tilausten varastointi voidaan jakaa omiin osiin, siten että jokaiselle asiakkaalle on oma laatikkonsa mihin tuotteet lajitellaan. Tämä vähentää epäselvyyksiä ja nopeuttaa toimintaa.

15.5 Edestakaisen liikkeen poistaminen

Layoutpohjaa tulee selkeyttää niin, että työvaiheiden järjestys kulkee vain yhteen suuntaan johdattaen työntekijää eteenpäin. Tällöin vältetään turhat liikkeet ja virheet.

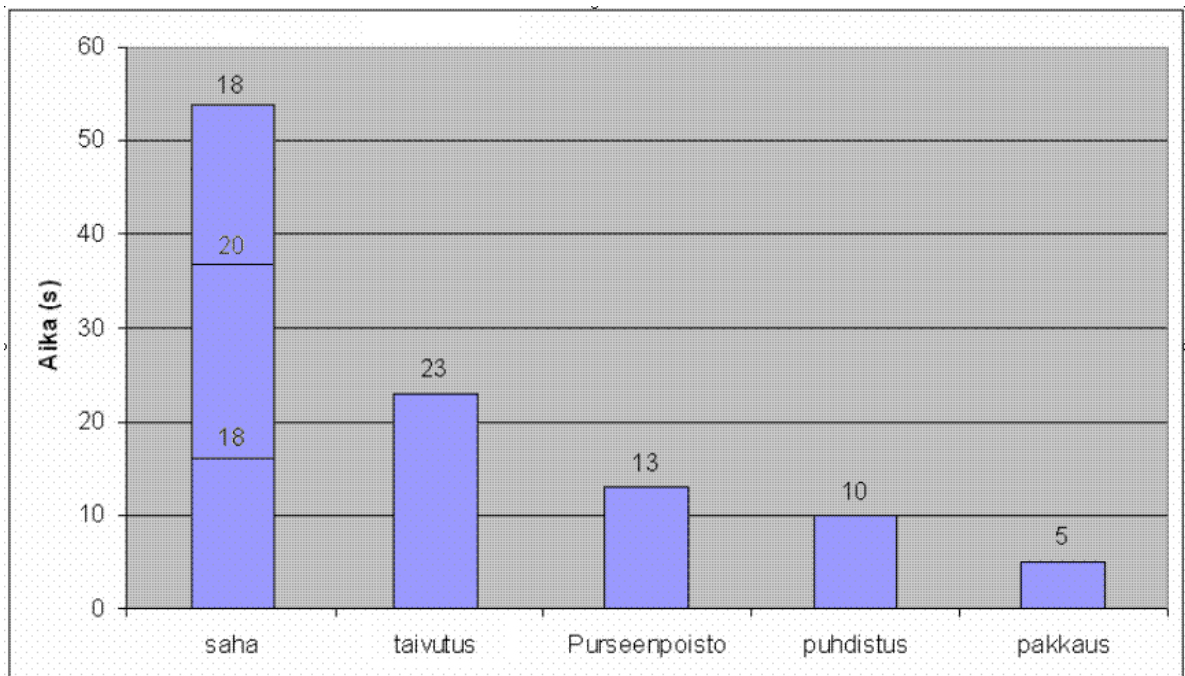
Nykyisessä layoutissa suurimmat työjärjestykseen liittyvät ongelmat ovat sahan ja taivutuskoneen yhteydessä. Näiden kahden koneen välillä joudutaan kulkemaan edestakaisin, koska varmistetaan sahanvasteen oikea asetus. Edestakainen liikkuminen poistetaan, kun putket sahataan hieman ylimittaan. Tällöin kaikki sarjassa tehtävät putket voidaan katkaista yhdellä kertaa. Tarkistusmittausta ei tarvita sahauksen jälkeen, koska putkessa on hieman ylimääräistä. Tarkistusmittaus tehdään vain ensimmäiseen putkiaihioon taivutuksen jälkeen. Näin tehtynä putkesta jää hieman suurempi hukkamateriaali, mutta se ei ole niin merkittävää. Merkittävämpi tekijä on saatu työkulun selkeytys ja nopeus. Kuvassa 27 on mallintamalla tutkittu, kuinka ylimittaan sahaaminen säästää aikaa. Lähtötietoina on käytetty 12 kappaleen sarjakokoa. Ylimittaan sahaaminen vähentää työvaiheista testisahauksen ja testiaihion viennin taivutuskoneelle, tämä vähentää läpimenoaikaa noin 3 %.



Kuva 27. Ylimittaan sahaamisen tuoma ajansäästö.

15.6 Pullonkaulojen poistaminen

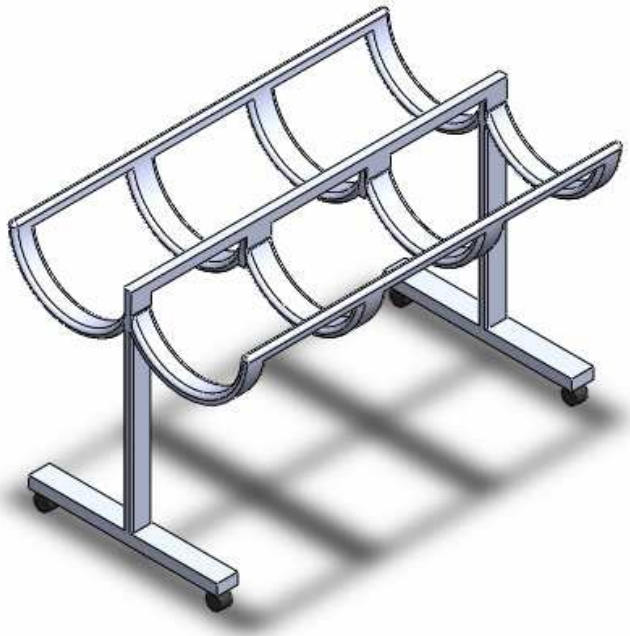
Tuotantojärjestelmässä kaikki koneet ovat samanarvoisia eli johtokonetta ei ole. Kaikkien koneiden työvaiheiden ajat muodostavat koneiden kokonaisläpäisyajan. Vertailtaessa koneiden käyttöastetta koko läpimenoaikana huomataan että pullonkaulana järjestelmässä on saha (kuva 28). Sahaa joudutaan käyttämään yhden putken teossa jopa kolme kertaa. Yksin työskenneltäessä yhdellä sahalla pärjää hyvin, koska päällekkäisiä vaiheita ei voi olla. Kaksin työskenneltäessä päällekkäisiä työvaiheita syntyy. Kaksin työskentelyssä toisen sahan lisäys vaikuttaakin merkittävästi työn sujuvuuteen. Sahan nopeutta voidaan nostaa te-rän nopeutta lisäämällä, mutta suurempi hyöty saataisiin jos sahalla voisi sahata yhdellä kertaa enemmän aihioita. Kuvan 28 perusteella taivutuskonetta voidaan sanoa toiseksi hitaimmaksi koneeksi. Työvaiheen läpimenoaika voidaan pienentää, jos määritetään kaikille putkille maksimitaivutusnopeus. Arvion mukaan 90 % putkista voitaisiin taivuttaa noin 25 % nopeammin. Tämä vaatisi kuitenkin todellista testaamista, ennen kuin todellinen hyöty nähtäisiin. Purseenpoiston, puhdistuksen ja pakkauksen ergonomiaa voidaan parantaa käyttämällä kuljetustasoja, suoranaista läpimenoaika lyhentävää vaikutusta sillä ei kuitenkaan ole.



Kuva 28. Työvaiheiden keskimääräisten vaiheaikojen vertailu. Sininen palkki näyttää yhden putken valmistukseen käytettävän ajan jakautumisen työvaiheisiin. Sahauksia voi olla putken valmistuksessa jopa kolme kertaa

15.7 Tuotantoergonomian parantaminen

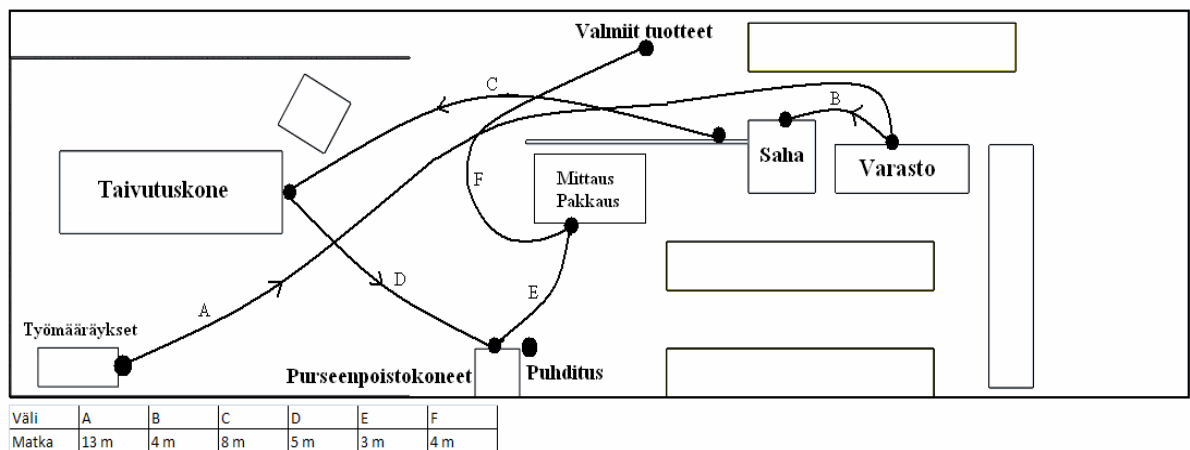
Ergonomian parantamisella saadaan työympäristöstä viihtyisämpi ja helpommin käytettävä, tämä nopeuttaa toimintaa ja vähentää virheiden määrää. Varastojen käytettävyyttä pystytään parantamaan automaatiolla ja kuljetukset saadaan minimiin kuljettimilla, näin vältetään vaikeasti kannettavien putkien käsittelyä. Automaation hankkiminen pelkän ergonomian takia tulee kalliiksi. Täytyisi olla muitakin hyötyjä, kuten läpimenoajan pieneminen ja laadun parantuminen. Putkien siirtelyä voidaan pienin muutoksin helpottaa erilaisten pöytien ja kuljetustasojen avulla. Kuvassa 29 on kuljetustaso, johon putket lajitellaan työvaiheen mukaan. Toiselle puolella laitetaan aihiot ja toiselle puolelle työvaiheen jälkeinen aihio. Samalla kuljetustasolla onnistuu myös putkien purseenpoisto, puhdistaminen ja pakkaaminen helpommin. Nykyisen sahan käynnistinpainike on huonolla kohti. Ergonomiaa voidaan parantaa asentamalla jalkapainin. Teränsuojaa ei turvallisuuden takia voida poistaa, mutta siitä voisi tehdä kevyemmin siirrettävän.



Kuva 29. Työskentelyä helpottava kuljetustaso.

15.8 Välimatkat

Tuotantokoneiden työnkulun välimatkat eivät ole suuret nykyisen solun sisällä (kuva 30). Koneiden uudelleenjärjestelyllä pystytään kuitenkin selkeyttämään ja virtauttamaan layoutia. Volyymitiedon perusteella suoria putkia on noin 20 % koko valmistuksesta. Suorat putket tehdään vähemmillä työvaiheilla, joten ei ole järkevää kuljettaa suoria putkia taivutettavien putkien työnkulun mukaisesti. Niille onkin hyvä tehdä oman työnkulun mukainen järjestys. Näin annetaan tilaa tehdä kahta eri putkisarjaa yhtä aikaa. Liitteessä 5 on ideaalisolu, jossa on pyritty virtauttamaan ja selkeyttämään layoutpohjaa edellä mainitun tuotannon tehostamisen mukaisesti.



Kuva 30. Tuotantokoneiden välimatkat työnkulun mukaisesti. Nykyisessä solussa on paljon ristikkäisiä työnkuluja, sekä edestakaisia liikkeitä.

16 TUOTANTOMALLIEN VERTAILU

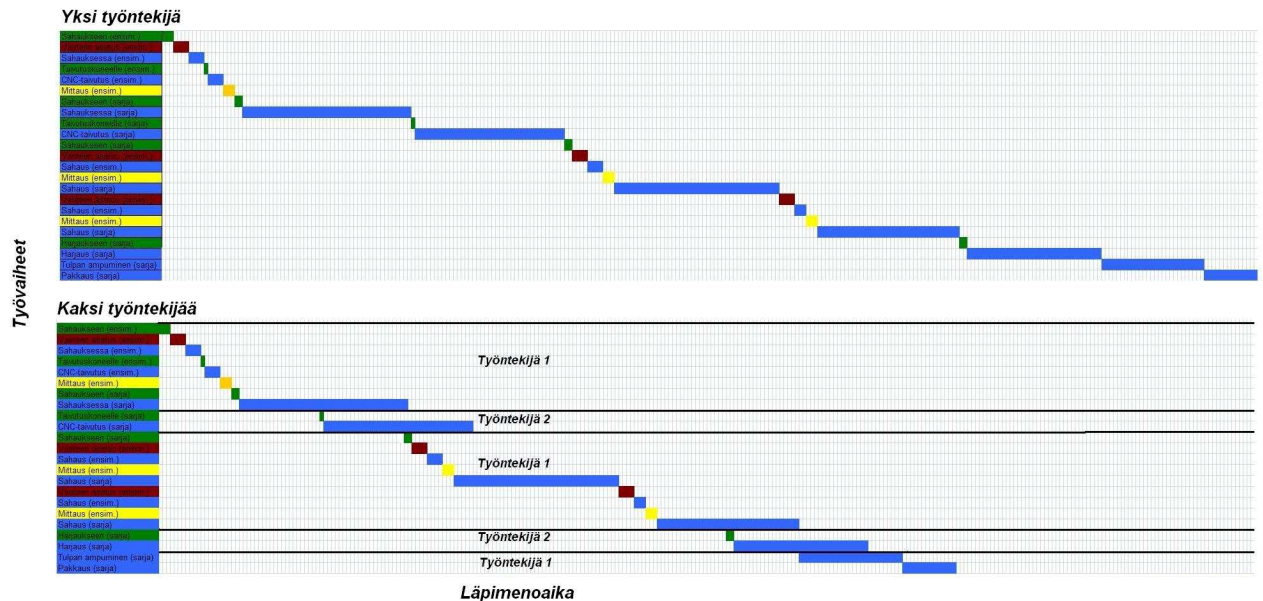
Tuotantomallien vertailulla tutkitaan ideaalisolun ihmis- ja konemäärien vaikutusta läpimenoaikaan. Vertailukohteena käytetään nykyistä tuotannon läpimenoaikaa. Vertailussa käytetään hyväksi mallinnustutkimusta (teoria s. 36- 39). Koska erilaisia tuotantomallin variaatioita on rajattomasti, joudutaan vertailua rajaamaan.

16.1 Mallien rajaaminen

Vertailtavat ideaalisolut jakautuvat neljään osaan. Ensimmäisenä verrataan kahden sahan vaikutusta läpimenoaikaan huomioiden yhden, kahden ja kolmen työntekijän vaikutukset. Toisena tutkitaan automaattisen varaston, kolmantena automaattisensahan ja neljäntenä automaattivaraston ja -sahan vaikutusta tuotantojärjestelmässä. Mallinnuksessa on otettu huomioon välimatkojen muutos, sekä edestakaisen liikkeen poistaminen putken ylimittaan katkaisulla. Taivutuskoneen työkalunvaihtoa ei ole huomioitu vertailussa. Keskimääräisenä sarjakokona käytetään 12 kappaleen sarjaa.

16.2 Nykyinen solu

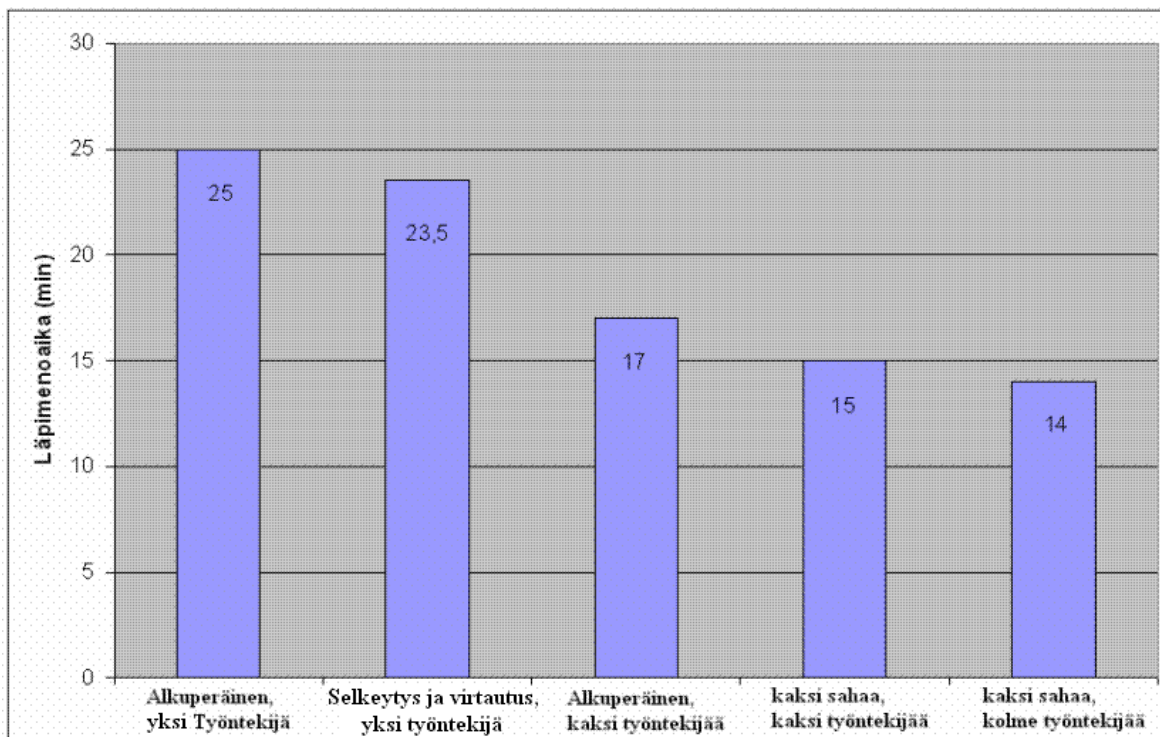
Nykyisen solun keskimääräinen läpimenoaika ilman työkalunvaihtoa yksin työskenneltäessä on 25 minuuttia (kuva 31). Kahdestaan työskenneltäessä läpimenoaika on 17 minuuttia (kuva 31). Ero yksin ja kaksin työskentelyllä on noin 30 %. Suurimmat erot johtuvat vaiheiden limittymisestä.



Kuva 31. Yksin ja kaksin työskentelyn ero läpimenoajassa.

16.3 Kaksi sahaa

Toisen sahan lisäyksellä pyritään vähentämään sahan käytön päällekkäisyyksiä. Liitteessä 5 on layoutkuva tehtaan pohjaan sovitetusta ideaalisolusta. Yksin työskenneltäessä toisen sahan lisäys ei vaikuta läpäisy aikaan, mutta työn virtautuksella ja edestakaisen liikkeen poistolla on selvä vaikutus. Läpäisy aika on yksin työskenneltäessä 23,5 minuuttia. Kahdestaan työskentelyssä toisen sahan lisäyksellä saadaan läpimenoaika lyhennettyä noin 15 minuuttiin, joka on 35 % lyhyempi aika kuin yksin työskenneltäessä. Kolmistaan työskenneltäessä läpimenoajaksi saadaan 14 minuuttia, tällä tavoin päästään 40 % lyhyempään aikaan. Kuvassa 32 on vertailtu alkuperäisen solun ja kahden sahan ideaalisolun läpimenoaikoja keskenään.

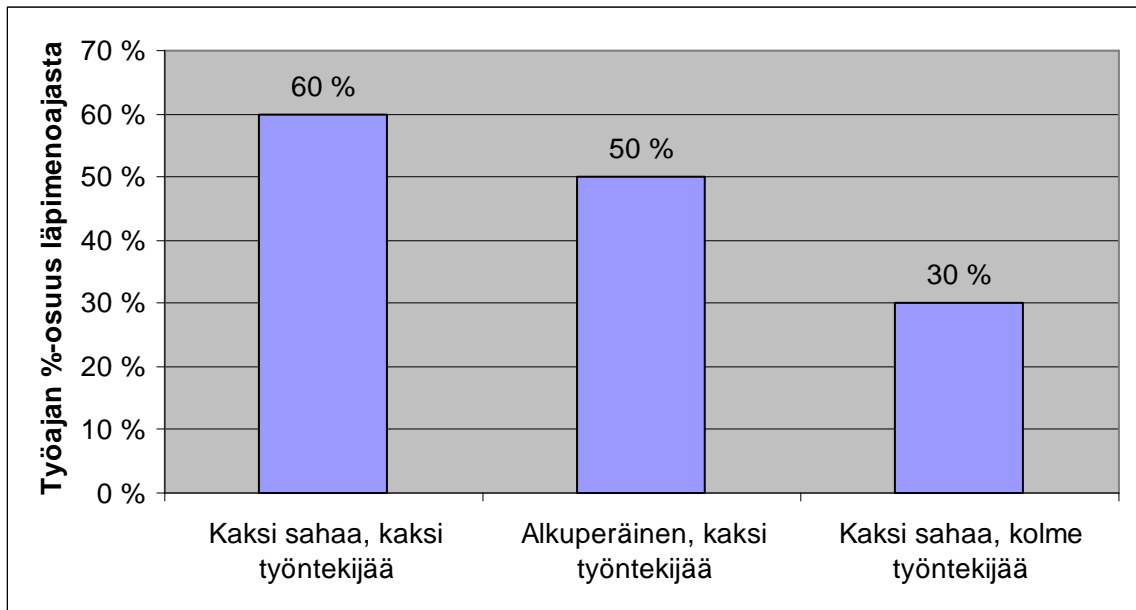


Kuva 32. Sahan ja työntekijöiden vaikutus läpimenoaikaan.

Saatujen arvojen perusteella voidaan päätellä että:

- layoutin selkeyttämisellä ja virtautuksella pystytään läpimenoaika lyhentämään noin 6 %.
- Sahan lisäyksellä ja kahdella työntekijällä läpimenoaika pystytään lyhentämään 6 %.
- Kolmella työntekijällä ja kahdella sahalla lyhentyä läpimenoaika 12 %.

Läpimenoajan lyheneminen sahanlisäyksellä ja kahdella työntekijällä perustuu siihen, että seuraavan sarjan tekeminen voidaan aloittaa aikaisemmin, koska toinen saha on jo käytettävissä, kun toisella tehdään jälkikatkaisua. Kolmella työntekijällä työvaiheet voidaan jakaa työpisteisiin: Yksi työntekijä hoitaa varastosta oton ja putken katkaisun, toinen taivutuksen ja kolmas loppusahauksen sekä puhdistuksen. Työvaiheiden välit voidaan virtauttaa kuljettimella. Kuljetin sopii parhaiten solun suurimmalle välille, joka on aihiosahan ja taivutuskoneen välissä. Tässä välissä kuljettimen hyöty olisi noin 3 %. Läpimenoajan lyheneminen perustuu siihen, koska aihioita ei tarvitse hakea sarjojen välissä toiselta työvaiheelta.



Kuva 33. Tehollisen työajan %- osuus läpimenoajasta.

Kuvassa 33 on vertailtu tehollisen työajan %- osuutta läpimenoaikaan. Kuvan perusteella voidaan todeta että kahdella sahalla ja kahdella työntekijällä saadaan tehokkaimmin työaika käyttöön. Alkuperäisessä solussa yhdellä sahalla työskennellessä toisen sahan puuttuminen lisää työntekijöiden odotusaikaa. Kolmella sahalla tehollinen työaika on vain 30 % läpimenoajasta

16.4 Automaattivarasto

Automaattivaraston läpimenoaikaa lyhentävän vaikutuksen suuruus riippuu paljon varaston koosta, välimatkoista ja sarjakoosta. Varastot joissa on paljon materiaalia ja välimatkat ovat suuria, saavutetaan automatiikalla huomattava hyöty. Tällöin läpimenoaika lyhenee kun työntekijän ei tarvitse etsiä ja siirtää materiaalia haluamaansa paikkaan, vaan varasto tekee sen nopeasti ilman etsimistä. Pienissä ja lähellä olevissa varastoissa edellä mainittu hyöty ei ole kovin suuri. Automaattivarasto lyhentää läpimenoaikaa myös siksi, että se antaa työntekijän tehdä muita työvaiheita, silloin kun varasto hakee materiaalia. Suursarjoilla joissa valmistettavaa tuotetta tehdään pitkiä aikoja, varastonohjaus on kevyempi. Tällöin ei materiaalin lajittelua tarvita varaston sisällä, vaan varastossa on vain yhtä materiaalilajia. Tällöin tuotteen vaihtuessa toiseen joudutaan koko laitteistoon tekemään suuria muutoksia, harvat tuotteen vaihdot tekevät siitä kannattavan. Tuotanto jossa tuote muuttuu päivittäin, lisää varaston ohjauksen tarvetta huomattavasti. Varaston täytyy olla joustavampi, mikä nostaa varaston hintaa huomattavasti. Hinnaltaan automaattivarastot ovat kymmeniä kerto-

ja kalliimpia, kuin saman kapasiteetin manuaalivarastot. Liitteessä 6 on layout kuva kuinka automaattivaraston sijoittelulla saadaan tilaa säästettyä muuhun käyttöön. Manuaalivarastolla kyseinen sijoitus vaatisi enemmän tilaa, koska hyllyjen välissä täytyy mahtua kulkemaan.

16.5 Automaattisaha

Automaattisahalla läpimenoaikaa lyhentävä vaikutus riippuu siitä kuinka nopea saha on ja paljonko työntekijä joutuu sahaa ohjaamaan ja tekemään makasiinin täyttöjä. Saha jonka makasiiniin asetetaan sarjakoon mukainen määrä aihioita, pystyy sahaamaan itsenäisesti putkia sarjakoon verran. Seuraavan sarjan ollessa eri halkaisijalla joutuu aihiot taas lataamaan makasiiniin. Työjärjestelyin pystytään putkien lataamista makasiiniin vähentämään. Esimerkiksi jos halkaisijaltaan samankokoiset sarjat tehtäisiin peräkkäin, tällöin makasiinia ei tarvitse olla niin usein täyttämässä halkaisijan muutoksen takia. Automaattisahasta on myös se hyöty että sahaamisen aikana työntekijä pystyy tekemään toisia työvaiheita. Pienillä sarjoilla ongelmaksi kuitenkin muodostuu se, ettei työntekijä pysty tekemään muita työvaiheita sarjanvaihdon välissä, tällöin automaattisahan maksimaalinen hyöty häviää. Lisäksi on huomioitava että makasiinin täyttö ja sahan asetusten teko vie aikaa, joten yksittäisten putkien tekeminen ei myöskään ole kannattavaa. Liitteessä 7 on layout kuva automaattisahan sijoituksesta tuotantojärjestelmään.

16.6 Automaattivarasto ja -saha

Automaattisahan ja automaattivaraston yhteiskäytöllä saadaan läpimenoaikaa lyhentävä vaikutus automatiikasta tulevan nopeuden ansiosta sekä varastosta oton ja sahauksen pois jäämisestä työntekijöiltä. Alkuperäiseen soluun verrattuna yhdellä työntekijällä voidaan päästä lähes samaan läpäisy aikaan kuin kahdella työntekijällä ja kahdella työntekijällä päästään lähes kolmen työntekijän läpäisy aikaan. Automaattivaraston ja automaattisahan yhteistoiminnan tulisi olla niin älykäs että työntekijä määrittäisi halutut sarjakoot, pituudet ja halkaisijat, jonka jälkeen varasto syöttäisi halutut materiaalit sahalle joka katkoisi ne halutun mittaiseksi. Tällainen järjestelmä on kuitenkin kallis johtuen sen joustavuudesta. Liitteessä 8 on layout kuva Automaattivaraston ja -sahan sijoituksesta.

17 KEHITYSSUUNNITELMA

Nykyisen valmistusjärjestelmän kuormitussuhde on 50 prosenttia historiatietojen perusteella, tällöin putkia valmistetaan noin 80 putkea päivässä. 100 prosentin tuotannolla päivätuotanto olisi noin 160 putkea päivässä. Kolminkertaisella tuotannolla putkia pitäisi pystyä valmistamaan 480 putkea päivässä. On kuitenkin hyvä huomioida että nykyisen kuormitussuhteen laskennassa on käytetty vuoden 2009 taantuman aikaisia tilastoja. Putken valmistus on taantuman aikana ollut maltillista, viimeistä puristusta ei ole tarvinnut tehdä. Tuotanto on kuitenkin kiireellisinä aikoina pystynyt venymään lähes 300 kappaleen päivätuotantoon. Tästä huomataan että tuotantoa on kiireellisenä aikana pystynyt kasvattamaan huomattavasti. Edellä mainittujen seikkojen vuoksi ei ole järkevää suunnitella alimitoitettua järjestelmää taantuman aikaisten tietojen pohjalta.

Tilastokeskuksen tekemän tutkimuksen mukaan vuonna 2009 metalliteollisuuden tuotanto laski keskimäärin 30 prosenttia (Tilastokeskus) vuoteen 2008 verrattuna. Onkin hyvä käyttää edellä mainittua prosenttilukua korjaamaan tuotannosta saatua tietoa. Voidaan ajatella että tuotantoa olisi normaalina aikana ollut 30 prosenttia enemmän. Näin ollen 160 putkea/pv x 30 % = 208 putkea/pv. Näin päästään todellisempaan tulokseen. Edellä mainittujen tietojen perustuen kolminkertainen tuotanto olisi:

$$3 \times 208 \text{ putkea/pv} = 624 \text{ putkea/pv}$$

17.1 Lyhyellä ajalla aloitettavat muutokset

Ensimmäisenä nykyinen järjestelmä muutetaan tuotannon yksinkertaisen tehostamisen mukaisesti. Tällä tavoin saadaan mahdollisimman hyvä perusta suurempien muutosten toteuttamiseen. Ei ole kannattavaa sijoittaa kalliisiin nopeisiin laitteisiin, ennen kuin toiminnot ja ohjaus koneiden ympärille saadaan mahdollisimman optimaaliseksi. Optimaalisella toiminnalla pystytään siirtämään kalliiden koneiden hankintaa myöhemmäksi. Vasta sitten kun optimaalinen toimiminen ei riitä, voidaan kalliimpia laitehankintoja tehdä.

Taulukossa 3 lasketaan yhteen läpimenoaikaa lyhentävien yksinkertaisten ratkaisujen vaikutusta yhdenpäivän tuotannossa. Näillä muutoksilla läpimenoaikaa saadaan pienennetyksi 23 %, Lisääntyneen ajan ansiosta päivätuotanto kasvaa:

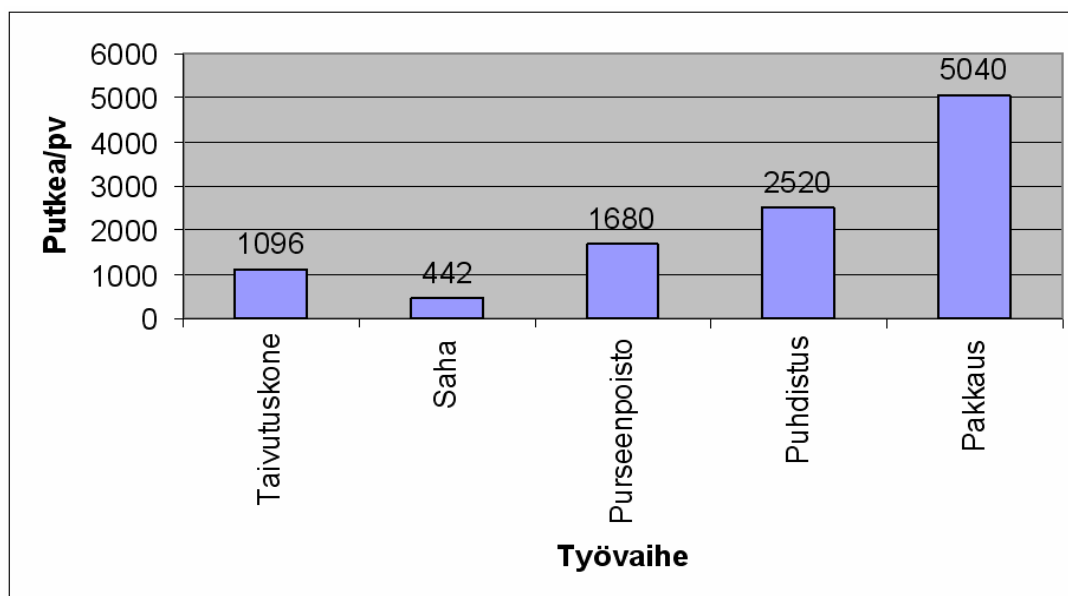
$$23 \% \times 208 \text{ putkea/pv} = 256 \text{ putkea/pv}$$

Yksinkertaisella tehostamisella ei päästä tavoitteeseen, mutta se lisää nykyisen järjestelmän tuotantokapasiteettiä kohtuullisen hyvin muutoksiin nähden.

Taulukko 3. Päivätuotannon läpimenoajan keskimääräinen lyheneminen.

Tehtävä	Keskimääräinen läpimenoajan lyhentyminen
Keskim. sarjakoko kolminkertaiseksi	8 %
Työkalun vaihdon puolittaminen	7 %
Layoutin selkeytys ja virtautus	6 %
Taivutuskoneen nopeuden nosto (arvio)	2 %
Yhteensä	23 %

Samaan aikaan kun yksinkertaisia tehostamisen keinoja aletaan toteuttaa, täytyy ehdottomasti aihiosaha hankkia nykyisten koneiden rinnalle. Muutoin ei ole mahdollisuutta saavuttaa teoriassakaan kolminkertaista tuotantoa, koska yhdellä sahalla ei pysty teoreettisesti pääsemään lähelle tavoitetuotantoa 624 putkeen/päivä (kuva 34). Yhdellä sahalla hyötyä ei myöskään saada tuotannon selkeytyksen ja virtautuksen kannalta, siihen tarvitaan vähintään kaksi sahaa.



Kuva 34. Teoreettinen valmistuskapasiteetti 7 tunnin aikana.

Paras ratkaisu toiseksi sahaksi olisi automaattisaha, jonka pystyy tulevaisuudessa liittämän yhteistyöhön muiden automaatiolaitteiden kanssa. Sahassa täytyy olla makasiini putkiaihi-
oille, sekä kuljetin putken siirtämiseksi taivutuskoneen luokse. Näin työntekijöiden ei tarvitse tehdä kaikkia sahaukseen liittyviä työvaiheita, myös sahan ja taivutuskoneen väliltä ei tarvitse kulkea. Liitteessä 6 on layout kuva, sahan sijoituksesta. Yleisesti voidaan sanoa automaattisahan läpäisyajan olevan vähintään puolet manuaalisen sahan läpäisyajasta, näin ollen yhden sahauksen kokonaiskestoksi saadaan 10 sekuntia. Kahdella työntekijällä ja automaattisahalla sahauksen läpimenoaika lyhenee noin 23 %. Tämä lisää päivätuotantoa:

$$23 \% \times 256 \text{ putkea/pv} = 320 \text{ putkea/pv}$$

Sarjakoon kasvattamisella, työkalunvaihdon puolittamisella, layoutin selkeytyksellä ja virtautuksella, taivutuskoneen nopeuden nostolla ja automaattisahalla tuotantoa saadaan kasvatettua noin 50 %. Tuotannon kasvu on merkittävä, kohtuullisen helpoilla muutoksilla. Kolminkertaiseen tuotantoon pääseminen vaatiikin paljon suurempia muutoksia. Muutokset joudutaan tekemään pidemmällä aikavälillä tarpeen lisääntyessä.

Automaatiovaraston hankinta ei nykyisen järjestelmän kanssa lyhennä läpäisyaikaa juuri-
kaan, koska järjestelmän muut koneet eivät ole tarpeeksi automatisoituja. Automaattivaraston hyöty nykyisessä järjestelmässä saadaan tilan säästöllä sekä ergonomian parantumisella. Liitteen 5 layout kuvan mukaisesti sijoitettuna varasto olisi lähellä sahaa. Näin ollen suurta eroa ei ole, tuoko varasto materiaalin sahalle, vai hakeeko työntekijä sen itse. Välimatka on niin lyhyt, ettei hyötyä saada. Varaston materiaalipaikkojen määräkään ei anna hyötyä automaattivaraston käytölle. Eri halkaisijalle olevia putkia on noin 10, joten voidaan olettaa että työntekijä pystyy löytämään halutut putket miltei yhtä nopeasti kuin automaattivarasto. Tästä syystä manuaalivarasto on hyvä ratkaisu makasiinilla varustetun automaattisahan rinnalle. Tulevaisuudessa automaattivaraston käyttöä kannattaa harkita, jos varaston materiaali ja nimike määrät kasvavat riittävästi tai se on välttämätön muiden automaatio laitteiden kannalta. Esimerkiksi kun automaattivaraston ja sahantoiminta saadaan yhtenäiseksi, voidaan yhden työntekijän työvaiheet tehdä kokonaan automaatiikalla. Tällöin saavutettu hyöty moninkertaistuu.

17.2 Pidemmän ajan ratkaisut

Tuotannon kolminkertaistaminen pystytään toteuttamaan kaksivuorotyöllä, automaatiolla tai tekemällä toinen solu nykyisen rinnalle. Kun lyhyen ajan muutokset on tehty ja tarvetta on kapasiteetin kasvattamiseksi, täytyy päättää halutaanko tehdä yksittäiskappaleita vai siirtyäkö suurempien sarjojen valmistukseen. Tehty päätös vaikuttaa järjestelmän ohjaukseen ja suunnitteluun merkittävästi. Yksittäistuotantoa tehtäessä saavutetaan joustavuus kaksivuorotyöllä, tällöin pystytään tekemään edelleen yksittäiskappaleet ja suuremmat sarjat. Kaksivuorotyö kannattaa myös väliaikaisena ratkaisuna, jos olemassa oleva järjestelmän kapasiteetti ei riitä kysynnän vaihtelun vuoksi. Toinen vaihtoehto on toisen tuotantosolun lisääminen nykyisen rinnalle. Tällä ratkaisulla päästään samaan joustavuuteen kuin kaksivuorotyöllä, mutta se kaksinkertaistaa koneiden ja työntekijöiden määrän. Kaksivuorotyöllä ja toisen solun lisäyksellä ei saavuteta maksimaalista kapasiteettiä, mutta tuotanto on joustavaa.

Jos yksittäiskappaleiden ja pienien sarjojen tuotantoa vähennetään tai lopetetaan, saavutetaan automaatiolla suuri kapasiteetti ja hyvä laatu. Automatisoidulla järjestelmällä pystytään tuotantoa kasvattamaan moninkertaisesti, mutta automatisoitu järjestelmä vaatii koko tuotteiston konstruktion muutosta, mikä jäykistää tuotteen valmistamista. Tämä tarkoittaa sitä, että putken valmistus täytyy suunnitella paljon tarkemmin. Tällöin tarvitaan koko tuotantolinjan ohjelmointi kyseiselle putkimallille. Ohjelmoinnin tarve johtaa huomattavasti suurempiin sarjakokoihin.

Tulevaisuuden tuotantomäärä ja sarjakoko näyttävät suunnan, kuinka järjestelmää kannattaa kehittää. Keskimääräisen sarjakoon odotetaan kasvavan ainakin kolminkertaiseksi, 36 kappaleeseen. Kyseinen sarjakoko ei tee automaatiojärjestelmästä kannattavaa. Toisen tuotantosolun lisääminen nykyisen rinnalle ei ole myöskään järkevä ratkaisu, koska se vaatii paljon lisä tilaa ja kaksinkertaistaa koneiden ja työntekijöiden määrän. Nykyisillä tiedoilla ja oletuksilla kaksivuorotyöllä saavutetaan helpoiten kolminkertainen tuotanto.

17.3 Yhteenveto kehityssuunnitelmasta

Ensimmäisenä järjestelmä muutetaan yksinkertaisen tehostamisen mukaisesti. Sarjakokoa kasvatetaan, työkalunvaihdon määrää vähennetään, layoutia selkeytetään ja virtautetaan ja taivutuskoneen nopeutta nostetaan. Edellä mainittujen muutosten lisäksi tulee automatisaha lisätä aihion katkaisuun ja nykyinen saha siirtää jälkikatkaisusahaksi, (liite 6). Myös kahta työntekijää tulee käyttää mahdollisimman paljon. Näillä muutoksilla pystytään tuotantoa kasvattamaan noin 50 %. Edellä mainittujen muutosten jälkeen tuotannon kolminkertaistaminen pystytään helpoiten toteuttamaan kaksivuorotyöllä.

18 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tehdä suunnitelma, miten hydrauliiikkaputkien valmistusjärjestelmän tuotantoa voidaan kasvattaa kolminkertaisesti viidessä vuodessa. Suunnittelussa oli paljon erilaisia muuttujia, mikä lisäsi laajalti eri teorioita. Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja haastavaa. Aikaa työn tekemiseen oli riittävästi, onnistuneen aikataulutuksen johdosta.

Työssä tutkittiin yrityksen tuotantoa, mitattiin työpistekohtaisia vaiheajoja sekä haastatettiin henkilökuntaa. Saatujen tietojen perusteella ratkaistiin tuotannonohjaukseen ja tuotantoon liittyvät ongelmat ja tehtiin kolme erilaista suunnitelmaa valmistusjärjestelmistä.

Työn tuloksena yritys sai teorian tietoa tuotannon kehittämisessä. Yleisessä teoriaosuudessa selvitettiin tuotannon tavoitteita ja tuotantomuodon määräytymiseen vaikuttavia tekijöitä. Lähemmin tarkasteltiin työnkulun muodostumista ja läpäisyajan vaikutusta tuottavuuteen. Järjestelmän suunnittelun kannalta teoriaa käytiin läpi työntutkimisen, layoutsuunnittelun ja järjestelmän mallintamisen osalta.

Tärkeimpänä tuloksena saatiin analyysi nykyisen tuotantojärjestelmän läpimenoajoista, ongelmista ja tuotannon tehostamisen keinoista. Tuotannon läpimenoaikaa on pyritty pienentämään uusilla koneilla, koneiden sijoittelulla, työn virtautuksella, ergonomian parantamisella ja kaiken turhan poistolla. Layoutista on tehty mahdollisimman selkeä, sekä muunneltavissa oleva. Tuotantojärjestelmän layoutia, konekanta ja työnjärjestelyä pystytään tulevaisuudessa muuttamaan tehokkaasti kehityssuunnitelman pohjalta.

LÄHTEET

Paineteho Oy. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.4.2010] Yrityksen kotisivut. Saatavissa <http://www.paineteho.fi/>

Vossi Group Oy. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.4.2010] Yrityksen kotisivut. Saatavissa <http://www.vossi.fi/>

Macri Italia. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.4.2010] Yrityksen kotisivut. Saatavissa <http://www.macri-italia.fi/>

Tilastokeskus [verkkodokumentti]. [viitattu 13.4.2010] Saatavissa http://www.stat.fi/artikkelit/2010/art_2010-03-26_001.html?s=0

Tuotantotalous [verkkodokumentti]. [viitattu 5.5.2010] Saatavissa http://www.uku.fi/avoin/tuta/j4_3vaikuttavat.htm

Lapinleimu Ilkka, Kauppinen Veijo, Torvinen Seppo. *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*. WSOY, Porvoo 1997.

Uusi-Rauva, E., Haverila, M., Kouri, I., Miettinen A. *Teollisuustalous*. Tammer-Paino, Tampere 2005. Viides painos.

Kajaste Veikko, Liukko Timo. LEAN- toiminta, *Suomalaisten yritysten kokemuksia*. Metalliteollisuuden kustannus Oy, Tekninen tiedotus 1994.

Suomen Automaatioseura ry. *Laatu automaatioissa*. Saarijärven offset Oy, Saarijärvi 2001.

Tekninentiedotus 12/1987. *JOT käytännössä*. Metalliteollisuuden kustannus Oy, Helsinki.

Rationalisointi Ry, *Tehtaan layout-suunnittelukurssi*

	Suorat putket (pituus < 1m)	Suorat putket (pituus ≥ 1m)	Putket, 2 katkaisua, (pituus < 1m)	Putket, 2 katkaisua, (pituus ≥ 1m)	Putket, 1 katkaisu, (pituus < 1m)	Putket, 1 katkaisu (pituus ≥ 1m)
halkaisija < 16mm						
halkaisija ≥ 16mm						

